

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

**Návrh a konstrukční řešení automatického přepínání  
tratí při čerpání peristaltickou pumpou**

**Design of Module for Automated Switching of Pumping  
Lines of Specific Peristaltic pump**

Student:

Tereza Fabrigerová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Gloger

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra robototechniky

## Zadání bakalářské práce

|                   |  |
|-------------------|--|
| Student:          | <b>Tereza Fabrigerová</b>  |
| Studijní program: | B2341 Strojírenství  |
| Studijní obor:    | 2301R013 Robotika  |
| Téma:             | <b>Návrh a konstrukční řešení automatického přepínání tratí při čerpání peristaltickou pumpou</b><br><b>Design of Module for Automated Switching of Pumping Lines of Specific Peristaltic pump</b> |

### Zásady pro vypracování:

Vytvořte konstrukční řešení automatického přepínání čerpacích tratí pro peristaltickou pumpu ISMATEC ISM721A. Při práci se držte následujícího postupu:

1. Popište obecný princip peristaltické pumpy a vytvořte přehled produktů, využívajících systému a principu peristaltického čerpání. Popište výhody a nevýhody tohoto způsobu čerpání. Prozkoumejte dále odvětví, ve kterých se tato pumpa používá. Udělejte přehled hadiček, které lze použít pro čerpání chemikálií a jiných nebezpečných tekutin. Krátce popište normu ATEX a její členění. Vytvořte krátký přehled dekontaminačních postupů a technik.
2. Prozkoumejte a vyhotovte 3D model pumpy ISMATEC ISM721A ze kterého budete při návrhu vycházet.
3. Na základě provedené analýzy a sestaveného požadavkového listu navrhnete varianty řešení. Hlavní kritéria při navrhování by měly být spolehlivost, jednoduchá obsluha a dekontaminovatelnost. Proveďte objektivní posouzení navržených variant a vyberte z nich nejlepší.
4. Vybranou variantu rozpracujte do úrovně detailního 3D modelu.
5. Práci doplňte podrobnou technickou dokumentací. Výkresovou dokumentaci vypracujte dle pokynů vedoucího práce. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému (dle pokynů vedoucího).

### Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

NOVÁK, P. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. 1. vydání. Praha: BEN Praha, 2005. 247 s. ISBN 80-7300-141-1.

KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. 1. vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 139 s. ISBN 80-248-0626-6.

SMRČEK, J.; KÁRNÍK, L.; BOBOVSKÝ, Z. *Robotika – Servisné roboty na pásom podvozku. Navrhovanie, konštrukcia, riešenia*. 1. vydání. Košice: Edícia ved. a odb. literatúry SJF TU, 2010. 248 s.

KÁRNÍK, L.; KNOFLÍČEK, R.; MARCINČIN, J. *Mobilní roboty*. 1. vydání. Opava: Město Slezsko, 2000. 212 s. ISBN 80-902746-2-5.

DRASTÍK, F. *Technické kreslení I. – pravidla tvorby výkresů ve strojírenství*. 2. vydání. Ostrava: Montanex Ostrava, 2005. 260 s. ISBN 87-7225-195-3.

MATOUŠEK, J.; URBAN I.; LINHART P. *CBRNE. Detekce a monitorování, fyzická ochrana, dekontaminace*. 1. vydání. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 2008. 232 s. ISBN 978-80-7385-048-7

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Gloger**

Datum zadání: 31.10.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015

prof. Dr. Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18.5.2015

.....  
Tereza Fabrigerová

**Prohlašuji, že**

- jsem celou bakalářskou práci, včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18.5.2015

.....  
Tereza Fabrigerová

Jičínská 93

Příbor 742 58

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala Ing. Michalu Glogerovi za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracovávání bakalářské práce věnoval. Mé poděkování patří taktéž Ing. Milanu Miholovi Ph.D. za cenné rady při zpracovávání konstrukční části bakalářské práce. Rovněž děkuji mé rodině za bezmeznou morální podporu a pochopení.

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

FABRIGEROVÁ, T. *Návrh a konstrukční řešení automatického přepínání tratí při čerpání peristaltickou pumpou*, Ostrava: Katedra robotiky, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2015, 61 s. Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Gloger

Cílem této práce je návrh a konstrukční řešení mechanismu pro automatické přepínání tratí při odběru kapalin, který je realizován peristaltickou pumpou ISMATEC 721A. První část práce je věnována shrnutí aktuálního využití systému peristaltické pumpy a použití hadiček pro čerpání. V druhé části se práce zabývá návrhem variant řešení, jejich rozpracováním a výběrem optimální varianty. Práce obsahuje 3D model optimální varianty v CAD systému Creo Parametric a potřebnou výkresovou dokumentaci.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

FABRIGEROVÁ, T. *Design of Module for Automated Switching of Pumping Lines of Specific Peristaltic pump*, Ostrava: Department of Robotics, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava, 2015, 61 p. Thesis supervisor: Ing. Michal Gloger

The purpose of this bachelor thesis is to design a structural solution of mechanism for automatic switching of lines during liquids sampling, which is realized by a peristaltic pump ISMATEC 721A. The first part of work is devoted to a summary of the current use of peristaltic pump and tubing for pumping. In the second part the work deals with design of alternative solutions, their elaboration and selecting the optimal solution. The thesis includes a 3D model of an optimal solution in CAD system Creo Parametric and the required drawings.

## Obsah

|  |    |
|--|----|
| Seznam použitého značení.....  | 10 |
| Úvod.....  | 11 |
| 1 Popis funkce peristaltické pumpy .....                                   | 12 |
| 1.1 Výhody peristaltické pumpy .....                                       | 13 |
| 1.2 Nevýhody peristaltické pumpy .....                                     | 13 |
| 1.3 Univerzální technické čerpadlo Rotho .....                             | 13 |
| 1.3.1 Aplikace čerpadel Rotho .....  | 15 |
| 1.4 Zdravotnictví a farmakologie .....                                     | 16 |
| 1.4.1 Toxikologie .....  | 16 |
| 1.4.2 LAMBDA PRECIFLOW peristaltická pumpa .....                           | 17 |
| 1.5 Hadičky .....  | 18 |
| 1.5.1 Základní materiály pro výstelku peristaltických hadiček .....        | 19 |
| 1.5.2 Hadičky vhodné pro peristaltiku .....                                | 20 |
| 2 Dekontaminace .....  | 22 |
| 2.1 Základní dělení dekontaminace.....                                     | 22 |
| 2.2 Mokrá dekontaminace BX24 suspenze .....                                | 23 |
| 2.3 SX34 Inovativní dekontaminace pro citlivé povrchy a velké objemy ..... | 23 |
| 3 Norma ATEX.....  | 24 |
| 4 Požadavkový list .....   | 26 |
| 5 Konstrukční návrh.....   | 27 |
| 5.1 Varianta A .....   | 27 |
| 5.2 Varianta B .....   | 28 |
| 5.3 Varianta C .....   | 30 |
| 5.4 Varianta D .....   | 31 |
| 5.5 Experimentální určení přítlačné síly .....                             | 32 |
| 6 Hodnotová analýza .....  | 33 |
| 6.1 Volba kritérií a jejich hodnocení.....                                 | 33 |
| 6.2 Určení významnosti kritérií.....                                       | 34 |
| 6.3 Přehled navržených variant a jejich hodnocení:.....                    | 36 |
| 7 Rozpracování variant .....   | 38 |
| 7.1 Rozpracovaná varianta A .....  | 38 |
| 7.2 Rozpracovaná varianta D .....  | 40 |
| 7.3 Srovnání rozpracovaných variant A a D .....                            | 42 |



|     |   |    |
|-----|---|----|
| 8   | Optimální varianta .....                          | 43 |
| 8.1 | Výpočet požadovaného výkonu a momentu motoru..... | 44 |
| 8.2 | Návrh pohonu, spojky a jeho řízení .....          | 49 |
| 9   | Závěr .....                                       | 56 |
| 10  | Použitá literatura .....                          | 57 |
| 11  | Přílohy.....                                      | 61 |

**Seznam použitého značení**

| <b>Označení</b> | <b>Význam označení</b>                  | <b>Jednotka</b>    |
|-----------------|---|--------------------|
| b               | posunutí přímky                         | [-]                |
| c               | potřebná vzdálenost pro přepínání tratí | [mm]               |
| d               | vzdálenost působení síly $R_A$ , $R_B$  | [mm]               |
| $d_2$           | střední průměr závitové tyče            | [mm]               |
| D               | průměr vodící tyče                      | [mm]               |
| E               | modul pružnosti v tahu                  | [GPa]              |
| f               | koeficient tření                        | [-]                |
| F               | axiální síla zatěžující závitovou tyč   | [N]                |
| $F_{At}$        | třecí síla ve vodící tyči A             | [N]                |
| $F_{Bt}$        | třecí síla ve vodící tyči B             | [N]                |
| $F_x$           | radiální přitlačná síla                 | [N]                |
| $F_y$           | axiální síla působící na závitovou tyč  | [N]                |
| $F_v$           | výslednice sil                          | [N]                |
| I               | kvadratický moment průřezu v ohybu      | [mm <sup>4</sup> ] |
| k               | směrnice přímky                         | [-]                |
| M               | potřebný moment motoru                  | [Nm]               |
| n               | otáčky závitové tyče                    | [s <sup>-1</sup> ] |
| $n_z$           | zvolené otáčky závitové tyče            | [s <sup>-1</sup> ] |
| P               | výkon motoru                            | [W]                |
| $P_h$           | stoupání závitu                         | [-]                |
| q               | váha významnosti                        | [-]                |
| r               | poloměr otáčení                         | [m]                |
| $R_A$           | reakce ve vodící tyči A                 | [N]                |
| $R_B$           | reakce ve vodící tyči B                 | [N]                |
| v               | počet voleb                             | [-]                |
| $v_z$           | rychlost posuvu matice po tyči          | [mm/s]             |
| $\alpha$        | úhel působení síly $F_x$                | [°]                |
| $\delta_{MAX}$  | maximální průhyb vodící tyče            | [mm]               |
| $\eta$          | účinnost                                | [%]                |
| $\omega$        | úhlová rychlost                         | [rad/s]            |

## Úvod

Roboty se postupně stávají nedílnou součástí našeho života. Už nyní je automatizace v běžném životě natolik rozšířená, že člověk se stává nevyužitým. Nelze ale vyzdvihovat pouze negativní vlivy na společnost. Mezi pozitivní dopady patří např. zlepšení zdravotní péče napříč všemi generacemi obyvatelstva. Nasazení servisních robotů je vhodné v případech práce v nebezpečném prostředí, ve kterém by se člověk mohl jen stěží pohybovat. K těmto situacím se řadí i odběr vzorků peristaltickou pumpou pro laboratorní účely z prostředí, které mohou být kontaminované nebo zamořené chemikáliemi či jinými organickými látkami.

V první části bakalářské práce je shrnuto aktuální využití systému peristaltické pumpy pro odebrání vzorků a čerpání látek napříč různými sférami trhu. Nedílnou součástí peristaltických pump a čerpadel jsou hadičky, které svými vlastnostmi zajišťují správnou funkci čerpání. Různé druhy materiálů hadiček výrazně ovlivňují spolehlivost, životnost a odolnost celého mechanismu. Při použití peristaltické pumpy v nebezpečném prostředí je vhodné myslet také na její dekontaminaci. Možnost opakovaného použití zařízení se v dnešní době stává standardem, který výrazně ovlivňuje rozhodování při koupi daného zařízení. V rešerši jsou uvedeny způsoby dekontaminace a její vhodné typy pro použití k danému mechanismu.

Druhá část bakalářské práce je věnována čtyřem konstrukčním návrhům řešení, přičemž ke každé z nich byl vytvořen jednoduchý 3D model. Při navrhování variant byl kladen důraz na spolehlivost, jednoduchou konstrukci, snadnou obsluhu a servis a možnou dekontaminaci. Celý systém je navrhován jako mobilní zařízení pro odběr vzorků, které je součástí většího komplexního zařízení.

## 1 Popis funkce peristaltické pumpy

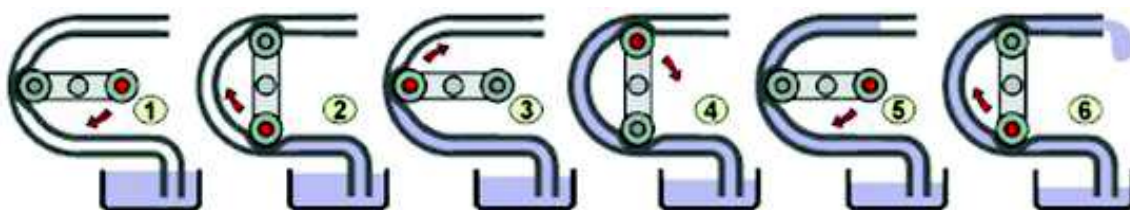
Peristaltická pumpa funguje na principu paměti materiálu, ze kterého je vyrobena flexibilní elastomerní hadička čerpadla. Materiálem hadiček jsou nejčastěji různé směsi PVC, silikonu a dalších. Během pomalého otáčení rotoru dochází k postupné deformaci hadičky, ve které se současně uzavře malý objem kapaliny. Kapalina v hadičce je vytlačována směrem ven a v místě za lopatkou vzniká podtlak. Střídáním tlakové komprese a expanze vnitřní trubice vzniká konstantní rychlost posunu. Velikost odebraného vzorku je dána počtem otočení čerpadla s nasátou kapalinou, kterou detekuje senzor v nasávací trubici. [2] [3]

Peristaltická pumpa je ideální pro přesné dávkování odebraného vzorku a pro všechny typy kontaminovaných látek, které nesmí přijít do styku s mechanickými částmi čerpadla, např. příliš chemicky agresivní látky nebo nebezpečné látky, nebo naopak látky, které nesmí být infikovány okolím, např. vzorky krve a drahé látky. [3]

Mezi typické parametry pro tuto pumpu patří:

- max. tlak do cca 18 Barů,
- max. průtok od 0,01ml/ min. do 1800ml/min.,
- max. otáčky pohonu cca 30 až 200 otáček/min. [5]

Peristaltické pumpy jsou poháněny DC motorem nebo krokovým motorem. Užívá se planetových převodovek pro dosažení velkých převodových poměrů vzhledem k malým rozměrům pump. Ke snímání otáček a polohy se používá rotační enkodér. [6]



Obr. 1 – Princip peristaltické pumpy [21]

## 1.1 Výhody peristaltické pumpy

Při čerpání peristaltickou pumpou dochází ke kontaktu čerpané tekutiny pouze s vnitřní stěnou hadičky. Nedochází tedy ke kontaminaci mechanických částí pumpy a pro opakované použití pumpy stačí vyměnit kontaminované hadičky za nové, stejného či jiného průměru. Dostupný průměr hadiček je od 5mm do 12,5 mm. Mezi další výhody patří volitelná rychlost odebírání vzorků, poměrně jednoduchá konstrukce pumpy a vysoká přesnost dávkování vzorků od cca  $\pm 0,5\%$ . Čerpadlo je odolné vůči chodu na prázdno a současně umožňuje obousměrný chod v závislosti na směru otáčení čerpadla. Čerpací hadičky jsou vyrobeny z odolných materiálů a je možné je měnit dle odebírané látky, avšak jejich životnost je nízká. [5]

Peristaltická pumpa umožňuje jemné pumpování pro všechny látky, kde hrozí nežádoucí poškození látky a molekulární změny. Maximální provozuschopnost je zajištěna pohybem viskózního nebo abrazivního média, často s obsahem pevných částic bez ucpání trubek. Tento aspekt je důležitý především pro technická čerpadla, která se používají v hornictví. [5] [2]

## 1.2 Nevýhody peristaltické pumpy

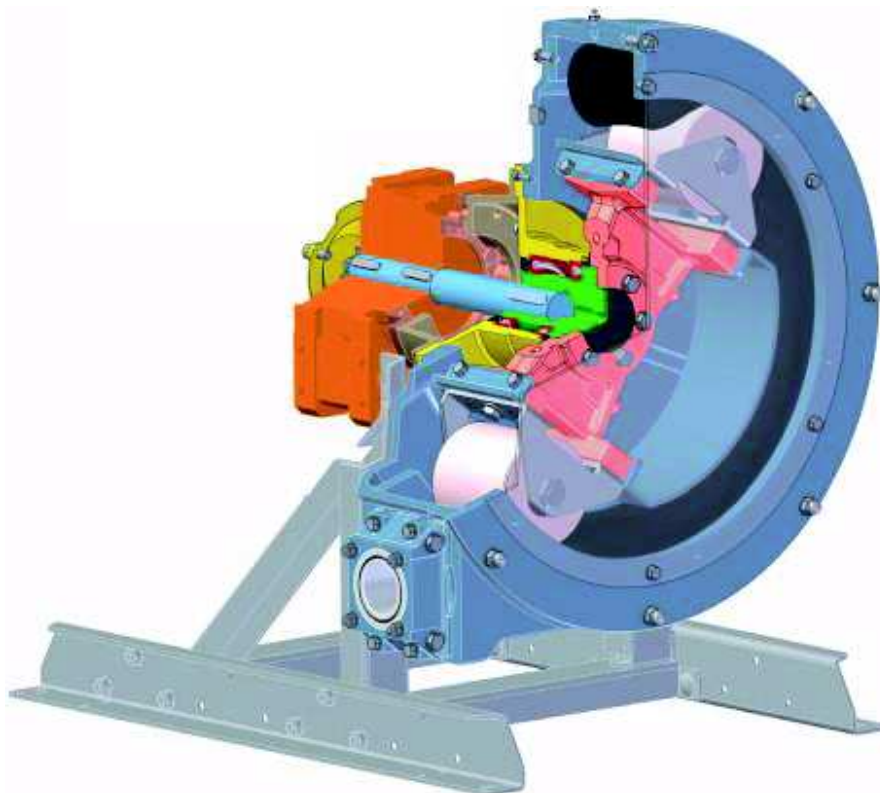
Jednou z nevýhod jsou ztráty u plynů a těkavých součástí čerpané látky. Při výstupu je průběh tlaku nelineární a způsobuje pulsující proud. Peristaltická pumpa je vhodná pouze pro nízkotlaké aplikace s malým a středním průtokem. Není vhodná pro sypké hmoty a vyžaduje pomalé otáčky rotoru. Při čerpání musí mít kapalina možnost stále odtékat, proto je peristaltická pumpa méně vhodná pro nepřetržitý dlouhodobý chod. [5]

## 1.3 Univerzální technické čerpadlo Rotho

V současné době mezi přední výrobce technických čerpadel patří Italský výrobce Ragazzini se svou řadou 16 -ti peristaltických čerpadel Rotho (obr. 2). [2]

Mezi hlavní benefity čerpadel Rotho patří univerzálnost použití. Výhodou je chod bez mazací kapaliny, tedy není nutná kontrola hladiny mazací tekutiny, a proto je vhodné použít čerpadlo i do potravinářské výroby, kde jsou kladeny vysoké nároky na hygienu.

Čerpadlo umožňuje použití menší jednotky a tím i nižšího potřebného výkonu. Ve výsledku to snižuje náklady na údržbu a napájení. Čerpadlo se vyrábí ve dvou verzích, jednoduché a dvojité hadice a se dvěma řízenými průměry hadic, které mohou být umístěny do jednoho čerpadla. [2]



Obr. 2 - Čerpadlo Rotho [2]

Čerpadlo snáší vysoký pracovní tlak a má velký rozsah nastavitelné rychlosti čerpání včetně širokého výběru z průměrů hadic. Jeho parametry jsou uvedeny v následující tabulce č. 1.

|                  |                               |
|------------------|-------------------------------|
| Rychlost čerpání | 0,001 – 180 m <sup>3</sup> /h |
| Pracovní tlak    | 15 – 16 Ba                    |
| Průměr hadic     | 5 – 127 mm                    |
| Pracovní teploty | Od -20 do +135°C              |

Tab. 1 - Parametry čerpadel typu Rotho [2]

### 1.3.1 Aplikace čerpadel Rotho

U všech níže zmíněných aplikací je hlavní a rozhodující čerpání veškerých kontaminovaných médií bez kontaminace mechanismu, dochází ke kontaktu pouze s vnitřní stěnou hadičky. [2]

- **Keramická**

Čerpadlo je vhodné, díky své konstrukci bez ventilů a těsnění, pro přenos laků při vysokých teplotách a brusných kalů s obsahem pevných částic ztrát, popř. pevných odpadů.

- **Chemická**

Možnost volby materiálu a průměru trubic umožňuje čerpání nebezpečných látek, zaručuje odolnost proti korozi a vynikající vzduchotěsný výkon, což je nezbytné pro přítomnost kyselin a korozních produktů.

- **Voda a odpady**

Manipulace s abrazivními a velmi kyselými kaly, kde neexistuje nebezpečí zablokování ucpáním trubice i v případě suspendovaných pevných částic (kameny a kovy). Čerpadlo je ideální k dávkování chemikálií, např. chlornan sodný, chlorid železitý, vápno, aj.

- **Papírenství**

Při zpracovávání papíru je čerpadlo využíváno k přidávání přísad, např. peroxid, amoniak, aj.

- **Stavebnictví**

Použití pro přidávání přísad do cementu a čerpání kalů s vysokým obsahem sušiny.

- **Barva a pigmenty**

Čerpání nástěnných barev, spárovacích hmot, barvy, pryskyřice.

- **Těžba**

Čerpání abrazivních a adhezivních kalů i při zvýšené teplotě. Čerpadlo snižuje údržbu a prostoje v běžných pracovních procesech 24hodin/ 7dní.

## 1.4 Zdravotnictví a farmakologie

Ve zdravotní technice je peristaltická pumpa známá jako infuzní pumpa s rotačním peristaltickým čerpadlem. Jedná se o hadičku vloženou do kruhové dráhy mezi opěrnou stěnou a rotorem. Po obvodu se pohybují lopatky, které při pohybu stlačují infuzní hadičku a způsobují výtlak tekutiny a současný podtlak. Obvykle se používají pro větší průtoky, např. při dialýze, transfuzi krve a krevní plazmy. [4]

Rozsah otáček a průtoků čerpadel jsou velmi široké, od desetin ml až po desítky litrů za hodinu, avšak obvyklý průtok krevní pumpy činí 250-300 ml/min. Značnou nevýhodou peristaltického čerpání je nelineární průběh tlaku a pulsující proud čerpané tekutiny, což se projeví při výstupu kladky ven z tzv. okluzí dráhy. Tento jev má zásadní vliv při nízkých průtocích, cca pod 10 ml/h, kdy může dojít k přerušení infuze. Kompenzaci lze provést dvěma způsoby, buď zmenšením průměru hadičky a zvýšením otáček, nebo zvýšením počtu kladek, což ale nepříznivě ovlivňuje výkon čerpadla. [4]

### 1.4.1 Toxikologie

V posledních letech farmaceutické společnosti investují do mikrosystémů na odebírání vzorků. Při vývoji nových léků je toxikologie významnou složkou studií krve, plazmy a séra. Mikro odběr vzorků představuje mnohé výhody oproti konvenčnímu způsobu odběru. [1]

Pokroky v citlivosti bioanalytických technik poskytují možnost provádět analýzy s mnohem menšími vzorky, až 25-30  $\mu$ l. Při odebírání mikro vzorků oproti konvenčnímu způsobu vzorkování se snižuje vliv pulsujícího tlaku na srdeční tep a dýchání, centrální nervovou soustavu, odebírání vzorků se tak stává celkově méně stresující. Při snížení odebraného množství vzorku může dojít až k 50 % snížení počtu testovaných zvířat (myši a potkanů). [4] [1]

V květnu roku 2013 proběhl v Londýně seminář pro 80 delegátů z 33 firem, které poskytly informace o jejich současném užívání mikro odběru vzorků, budoucích plánech a odběr vzorků v rámci vývoje nových léčiv. Z dotazníku, který byl předložen 22 respondentům před seminářem vyplývají tyto skutečnosti: Termín „mikro vzorek“ je používán pro různý objem tekutiny, od méně než 25  $\mu$ l do více než 100  $\mu$ l.



V ideálním případě je množství vzorku více než 50 $\mu$ l plné krve. Přes časté používání ve výzkumu léčiv má pouze 19% z dotázaných zkušenosti s právním přijetím správné laboratorní praxe. Většina z respondentů používá mikro odběr vzorků pro malé molekuly, nejčastěji pro odběr malého objemu plazmy a k rozvoji léků pomocí této technologie. [1]

#### 1.4.2 LAMBDA PRECIFLOW peristaltická pumpa

Moderní peristaltická pumpa minimálních rozměrů napájená nízkonapětovým zdrojem pro maximální bezpečnost, zobrazena na obr. 3. Připojením Integrátoru průtoku lze sledovat a určit množství čerpané tekutiny v čase. Nová technologie motoru umožňuje tichý chod a možnost plného dálkového ovládání.[7]

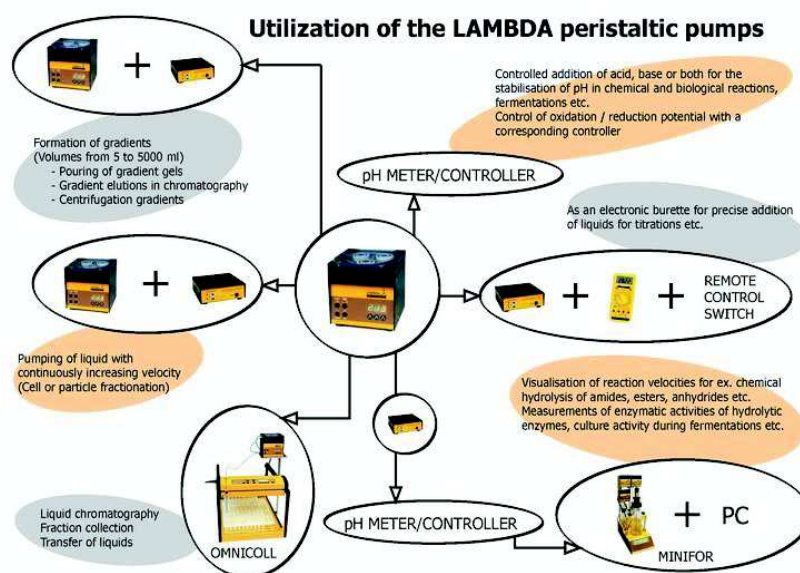
Peristaltické pumpy Lambda používají plastová kuličková ložiska většího průměru se skleněnými kuličkami. „Tato ložiska klouzají po hadičce tak lehce, že poprvé vůbec není potřeba hadičku upevnit proti posouvání. Přesto hadička není vtahována do pumpy a její životnost je značně prodloužena. Mechanismus pumpy umožňuje používat levné silikonové hadičky, které jsou dodávány v metrovém balení. Protože vnitřní průměr hadiček není vždy přesný, je třeba průtok pumpy při použití nové zásilky hadiček raději kalibrovat. Vysoce kvalitní krokový motor spolu s integrovaným mikroprocesorem švýcarské výroby zaručují dlouhodobou a přesnou funkci pumpy bez setrvačnosti běhu při zapnutí a vypnutí pumpy.“ [7]



Obr. 3 - peristaltická pumpa Lambda Preciflow [7]

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Rozsah průtoku            | 0,01-600 ml/h  |
| Rozsah regulace rychlosti | 0-999  |
| Průměr hadičky            | 0,5-4 mm při tloušťce stěny cca 1mm  |
| Maximální pracovní tlak   | cca 0,1 MPa při otáčení ve směru hodinových ručiček<br>cca 0,15 MPa při otáčení proti směru hodinových ručiček |
| Napětí                    | 0-10 V   |
| Váha                      | <1kg   |
| Provozní teplota          | 0-40°C   |

Tab. 2 - Parametry peristaltické pumpy Lambda Preciflow [7]



Obr. 4 – Použití peristaltických pump Lambda [9]

## 1.5 Hadičky

Hadičky vhodné pro čerpání chemicky aktivní látky musí být odolné jak chemicky, tak i tepelně. Chemickou látkou se rozumí kyseliny, rozpouštědla, barvy, neorganické a organické sloučeniny, uhlovodíky, rozpouštědla a jiné. Materiál hadiček je volen s ohledem na jejich použití, vybírá se z pryže EPDM, EPM, vitonu, polyamidu, polyetylenu, fluorovaných polymerů, jako jsou PFA, MFA, FEP.

Registrovaná obchodní značka, firmy Saint-Gobain Performance Plastics, Tygon symbolizuje skupinu průmyslových hadiček, vynikajících vysokou kvalitou a svým

precizním provedením pro specifické použití. Jejich materiálem jsou různé směsi ze silikonu, PVC, polyuretanu, fluoropolymeru, termoplastů, elastomerů a dalších plastů, smíchaných v různých poměrech pro dané typy hadiček dle jejich použití. Díky pečlivému výběru těchto kombinací materiálů vznikají unikátní vlastnosti materiálů hadiček, mezi něž patří pružnost a elasticita, které umožňují použití v peristaltických pumpách. [21][19][15]

### 1.5.1 Základní materiály pro výstelku peristaltických hadiček

#### PVC (Polyvinylchlorid)

Termoplastický polymer odolný vůči vodě, alkoholu, většině koncentrovaných kyselin a lihů, minerálním olejům i v podobě par a plynů. Provozní teplota tohoto materiálu se pohybuje v rozmezí od -15°C do 60°C. [21] [20]

#### PTFE (Teflon)

Antiadhezní polymer s teplotním rozsahem použití od -10°C až do 150°C, nízkým třením a atoxicitou. Materiál je odolný vůči napětí v tahu a opotřebení. [19]

#### EPDM (Ethylen-Propylen)

Materiál vyznačující se velmi dobrou odolností vůči stárnutí a oděru, ozónu a ultrafialovým paprskům, nízkou absorpcí vody a dobrou parotěsností. Rozsah pracovních teplot materiálu odpovídá hodnotám od -30°C až do +140°C. Materiál není vhodný pro minerální oleje a veškeré hydrokarbonáty. [19]

#### Silikon

Tento vynikající izolant nabízí fyziologickou čistotu, vysokou odolnost vůči atmosférickému stárnutí, rostlinným a živočišným tukům, benzinům a topným olejům. Pracovní teplota silikonu se pohybuje v rozmezí od -50°C až do +200°C. [19]

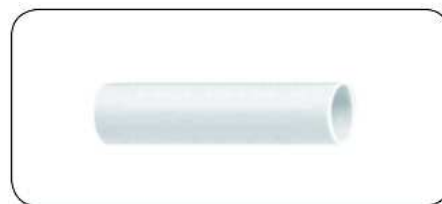
#### Viton

Materiál odolný vůči aromatickým, alifatickým uhlovodíkům, olejům a tukům, různým druhům paliv a zředěným kyselinám a zásadám s rozsahem použití od teplot -15°C až do 220°C. Viton lze znehodnotit estery, ketonovými rozpouštědly a anhydridem kyseliny octové. [19]

### 1.5.2 Hadičky vhodné pro peristaltiku

#### Norprene A-60-F (Obr. 5)

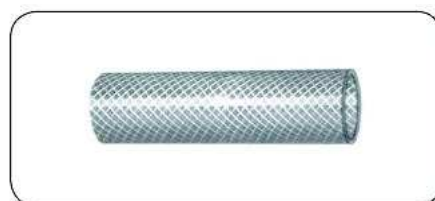
Běžová hadička s provozní teplotou od  $-60^{\circ}\text{C}$  do  $+135^{\circ}\text{C}$  a maximálním pracovním tlakem 0,54 bar. Svou odolností vůči přelomení a deformaci je vhodná pro použití v peristaltických pumpách a čerpadlech. [15]



Obr. 5 [15]

#### Tygothane C-544A I.B (Obr. 6)

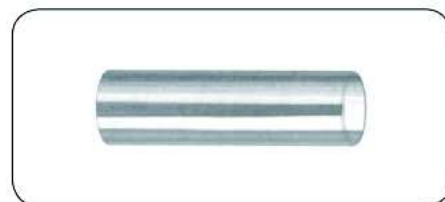
Univerzální průhledná polyuretanová hadička s vysokou schopností odolávat otěru a prodření. Vysoká přesnost rozměrů hadičky zaručuje její správnou a těsnou montáž. Provozní teploty hadičky jsou v rozmezí od  $-73^{\circ}\text{C}$  do  $+82^{\circ}\text{C}$ . [15]



Obr. 6 [15]

#### Tygon LFL (Obr. 7)

Hadička čistého krystalického vzhledu, používaná často v potravinářství, farmacii, kosmetice, chemii, díky její výborné odolnosti proti otěru a odlupování, stárnutí a netoxičnost. Provozní teplota hadičky je v rozmezí od  $-46^{\circ}\text{C}$  do  $74^{\circ}\text{C}$ . [15]



Obr. 7 [15]

#### Tygoprene XL-60 (Obr. 8)

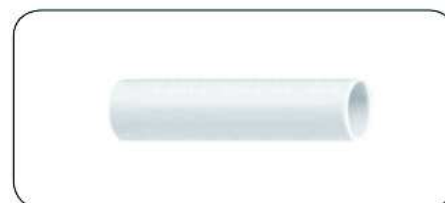
Lehká a elastická hadička, odolná vůči stárnutí a působení většiny zásad a kyselin. Tato hadička není vhodná pro čerpání medií s obsahem tuku. Provozní teplota nabývá hodnot od  $-67^{\circ}\text{C}$  až do  $+135^{\circ}\text{C}$ . [15]



Obr. 8 [15]

#### PharMed BPT (Obr. 9)

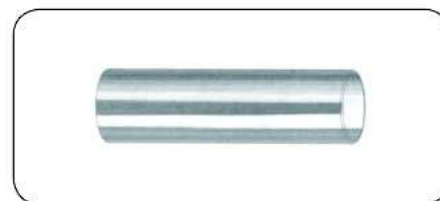
Biologicky bezpečná elastická krémová hadička je vhodná pro peristaltická čerpadla s provozní teplotou od  $-75^{\circ}\text{C}$  do  $+135^{\circ}\text{C}$ . Hadička odolává gama záření do hodnoty 5 MRad bez výrazné změny jejich fyzikálních vlastností. [15]



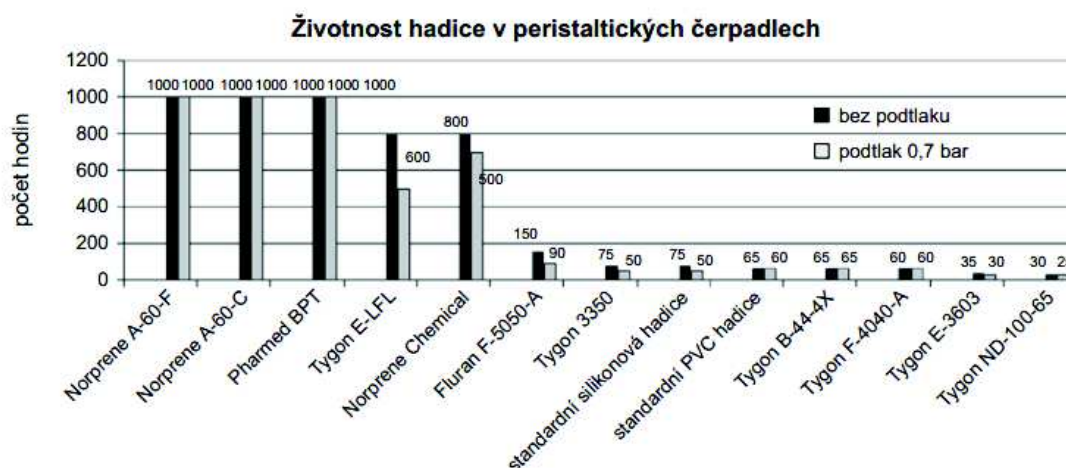
Obr. 9 [15]

Tygon R-3603 (Obr. 10)

Univerzální krystalicky čistá laboratorní hadička se zrcadlově hladkým vnitřním povrchem bez pórů, jimž je eliminováno usazování nečistot v hadičce. Rozmezí pracovních teplot hadičky od  $-46^{\circ}\text{C}$  do  $+74^{\circ}\text{C}$ . [15]



Obr. 10 [15]



Obr. 11 – Přehled životnosti hadic v peristaltických čerpadlech [15]

Na obr. 11 je znázorněno srovnání životnosti hadiček na základě jejich materiálů v provozu bez podtlaku nebo s pod tlakem 0,7 bar. „Testy byly provedeny na tlačném peristaltickém čerpadle se třemi otočnými kladkami při 600 otáčkách za minutu, při pokojové teplotě  $+23^{\circ}\text{C}$ . Hadičky měly vnitřní průměr 6,4 mm a vnější průměr 9,6 mm.“ [15]

Z testu vyplývá, že hadičky značky Norprene dosahují nejvyšší životnosti v obou případech provozu, až 1000 hodin čerpání. Hadička typu Tygon E-LFL má výrazně vyšší životnost než ostatní hadičky této značky. Životnost je ale velmi ovlivněna tlakem v provozu, s rostoucím tlakem značně klesá.

Při správném výběru hadičky je zásadní znalost čerpané látky a vnější podmínky prostředí. Mezi neopomenutelné parametry při výběru hadičky patří pracovní tlak a rozsah pracovních teplot. Hadičky se mohou lišit i způsobem sterilizace, elasticitou a poloměrem ohybu. [15]

## 2 Dekontaminace

„Dekontaminace je významné ochranné a záchranné opatření, běžně pokládáné za součást následků po napadení zbraněmi hromadného ničení nebo po jiné mimořádné události, kdy došlo k uvolnění chemických látek, biologických agens (bakterie, viry, patologické mikroorganismy) a radioaktivních látek, jimiž byly zasaženy osoby, zvířata, technika, materiál a životní prostředí. Pojmem dekontaminace označujeme obecně zneškodnění nebo účinné odstranění uvedených látek z významných živých i neživých objektů.“ [10]

### 2.1 Základní dělení dekontaminace

#### Mechanické

Tyto metody jsou velmi nedokonalé a slouží spíš jako dočasné opatření, než dojde k dalším dekontaminačním postupům. Jedná se o odstranění kontaminované vrstvy (použití u ropných havárií při těžení kontaminované půdy), nebo naopak o překrytí kontaminované vrstvy inertním materiálem, odhrnutí nebo ometení povrchu. [10]

#### Fyzikální

Tato metoda spočívá v odpaření, zajištěném zvýšenou teplotou, rozpuštění/omytí podle rozpustnosti kontaminantu ve vodě nebo organickém rozpouštědle a absorpci (pohlčení) objemu materiálu nebo na vnitřních površích jeho mikro pórů. [10]

#### Chemické

Chemické metody jsou založeny na změně molekulární struktury vlivem termického rozkladu nebo dekontaminačních činidel. Dochází k přeměně látek z toxických na netoxické. [10]

Mechanickými a fyzikálními metodami lze kontaminanty účinně odstranit z kritických povrchů a prostředí, ale pouze chemickými metodami lze zneškodnit kontaminant molekulární přeměnou. V praxi jde ve většině případů o kombinace výše uvedených technologických postupů. V případě naléhavosti mluvíme o okamžité/primární dekontaminaci, která bývá však často synonymem nedokonalosti a neúplnosti. V druhém případě jde o úplnou/sekundární dekontaminaci. [10]

## 2.2 Mokrý dekontaminace BX24 suspenze

BX24 suspenze je jediná chemická směs v práškovém stavu, která se míchá s vodou bez jakýchkoli přísad a rozpouštědel. Potřeba malého objemu vody a nenáročnost na její vlastnosti jsou velkou výhodou. Tento fakt celkově usnadňuje manipulaci a dopravu v místech s nedostatkem vody. Lze použít i slanou vodu, obecně je však třeba vyloučit sedimenty pevných látek a organické látky, jejichž přítomnost by mohla nepříznivě ovlivnit účinnost přístrojů použitých k disperzi suspenze. Při namíchání suspenze se ve vodě nevytváří hrudky.[11] [12] [13]

Aplikace suspenze pomocí disperze umožňuje použití i v nejtěžších podmínkách, na svislé nebo podřezané plochy. Obzvláště účinná se jeví při odstranění nežádoucích látek na povrchu tepelných mechanických zařízení v místech, kde se mohou shromažďovat nečistoty. Po nanesení BX24 se suspenze dostane do těsného kontaktu s látkou a má zvýšenou schopnost rozpouštění a absorpce. Na látce je viditelná bílá vrstva a dekontaminant vytvoří želé, které není kluzké a je možné ho namontovat na vozidla. Ve vrstvě dekontaminantu probíhají rozkladné reakce agresivních činidel chemického nebo biologického typu. [11] [12] [13]

Na rozdíl od jiných postupů dekontaminace suspenze BX24 nevyžaduje vysokou kvalifikaci personálu, která je v jiných případech vyžadována. U jiných typů by i malá odchylka mohla způsobit nebezpečnou situaci. [11] [12]

BX24 je možné dlouhodobě skladovat v původních obalech, na suchém a chladném místě, které je dobře větrané, mimo jiné sloučeniny. Prostory, ve kterých je BX24 uskladněno musí být dobře chráněny před prosakováním vody i při mimořádných podmínkách. Suspenze se ukázala jako stabilní i po 10 letech uložení v původním obalu. [11] [13]

## 2.3 SX34 Inovativní dekontaminace pro citlivé povrchy a velké objemy

SX34 je důkladný dekontaminační systém pro citlivé zařízení nebo interiérové platformy. Je určen pro drobná zařízení: masky, zbraně, helmy, citlivé zařízení – elektronika, optika, počítače, vnitřní části zařízení a vnitřní prostory, aj. Po dekontaminaci je zařízení připraveno k dalšímu bezpečnému použití, většinou jde o zařízení určené pro


přežití. Ve většině případů je zařízení degradováno agentem CBRN nebo dekontaminačním systémem a je nutná jeho bezpečná likvidace. [11] [12]

SX34 je připraveno ve spreji k použití na všechny materiály a povrchy. Dekontaminace probíhá bez chemických reakcí na povrchu, dochází přímo k odstranění kontaminantu. Odstraňuje látky v široké škále polarit (z vody do oleje) a z mnoha různých substrátů. Substrát SX34 není v tekuté formě, proto nedochází k odtoku a vsakování. Kontrola úspěchu dekontaminace se provádí vizuálně. Pokud není uspokojující, můžeme dekontaminaci opakovaně použít s ohledem na životní prostředí, dokud se nedocílí požadovaného stavu. [11] [12]


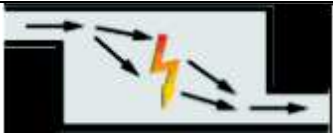


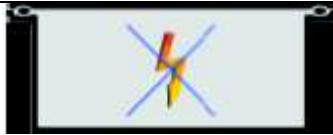
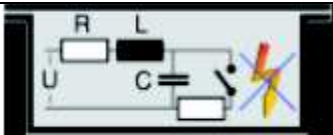

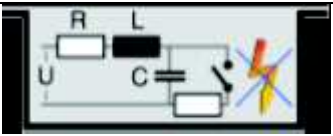
Výhodou je zabezpečení zbytkového odpadu ve speciálním vaku, přičemž tradiční metody vytváří až 8x více nebezpečného odpadu ve srovnání s SX34. Tento typ dekontaminace je bez elektrického rušení. Nevýhodou je použití silných chemických látek, které mohou zhoršit vlastnosti materiálu. Při aplikaci dekontaminantu může dojít k prosakování dekontaminantu a agresivní látky do dutin, kloubů, přepínačů a dalšího ovládání, popř. může dekontaminant stékat po šikmých plochách, což je nežádoucí. Tímto způsobem může dojít k degradaci zařízení. [11] [12]

### 3 Norma ATEX

Evropská norma ATEX 100 - směrnice 94/9/ES pro provoz zařízení, umožňuje volný pohyb zařízení na území EU v prostředí s nebezpečím výbuchu. Norma ATEX 137 – směrnice 1999/92/EC se týká bezpečnosti pracovníků, potenciálně ohrožených výbušným prostředím. Udává základní požadavky na ochranu zdraví a bezpečnost zařízení. [14]

| Přehled nevýbušných provedení dle směrnice ATEX                                     |                     |          |   |
|---|---------------------|----------|---|
| Obrázek   | Označení            | Norma    | poznámka  |
|  | Všeobecné požadavky | EN 50014 | DIN EN 50014 obsahuje všeobecné předpisy pro konstrukci a zkoušení elektrických provozních zařízení, které jsou určeny do prostředí s nebezpečím výbuchu. |



|   |   |          |   |
|---|---|----------|---|
|    | Olejový závěr<br>(o)<br>ponořeno<br>v oleji | EN 50015 | Při nevýbušném provedení s olejovým uzávěrem jsou provozní zařízení nebo jejich části odděleny od výbušné atmosféry ponořením do oleje.   |
|    | Přetlakové (p)<br>zapouzdření<br>(závěr)    | EN 50016 | Nevýbušný plyn, který je pod přetlakem (min. 0,5 mbar), uzavírá zdroj vznícení a zabraňuje vniknutí okolní atmosféry.   |
|    | Pístový (q)<br>(práškový)<br>závěr          | EN 50017 | Drobnozrnná výplň uzavírá zdroj vznícení. Vzniklý elektrický oblouk uvnitř nesmí při správném používání zapříčinit vznícení okolní ex-atmosféry.  |
|    | Pevné (d)<br>zapouzdření<br>(závěr)         | EN 50018 | V případě vznícení uvnitř zapouzdření musí pouzdro odolat tlaku a musí být vyloučeno přenesení vnitřního výbuchu do okolní atmosféry.   |
|   | Zvýšená (e)<br>bezpečnost                   | EN 50019 | Nevýbušné prostředí (e) platí pouze pro provozní zařízení nebo pro jejich část, ve kterých za normálních podmínek nevznikají jiskry ani elektrický oblouk, nedosahují nebezpečných teplot a jejichž jmenovité napětí nepřekračuje hodnotu 1 kV.   |
|  | Jiskrová (i)<br>bezpečnost                  | EN 50020 | Energie proudového obvodu je omezena na hodnotu, která vylučuje nebezpečně vysoké teploty a/nebo přeskok jiskry, resp. Zapálení elektrického oblouku.   |
|   | Nevýbušné (n)                               | EN 50021 | Zjednodušené použití ostatních nevýbušných provedení pro zónu 2.  |
|  | Zalité (m)<br>zapouzdření                   | EN 50028 | Zdroj vznícení je uložen do zalévací hmoty tak, že nemůže vznítit nebezpečnou výbušnou atmosféru.   |
|  | Jiskrově (i)<br>bezpečné<br>systémy         | EN 50039 | Odlišnosti jsou v:<br>-schválené jiskrově bezpečné systémy<br>-neschválené jiskrově bezpečné systémy<br>Jiskrově bezpečný systém je přípustný soubor vzájemně spojených elektrických provozních zařízení (jiskrově bezpečných a příslušných provozních zařízení), dokumentován popisem systému. |

Tab. 3 - Přehled nevýbušných provedení [14]

## 4 Požadavkový list

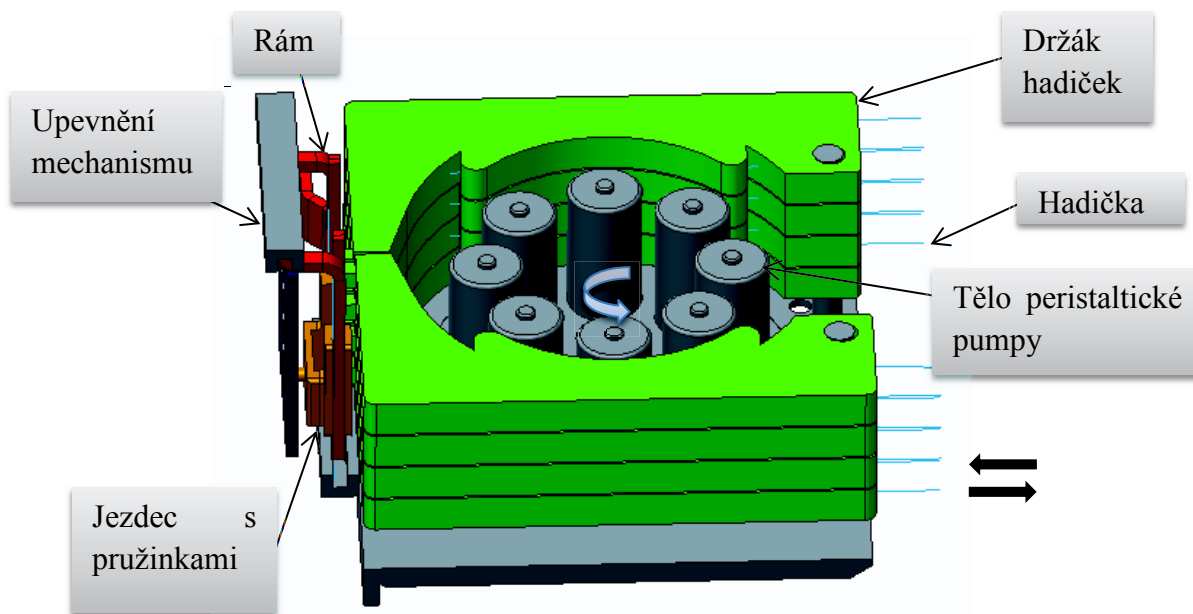
Požadavkový list se skládá z požadavků na čerpání a požadavků na mechanismus. Spolehlivost, jednoduchá obsluha a dekontaminovatelnost jsou prioritní požadavky, určené zadáním bakalářské práce.

| Požadavky na čerpání                                     |   |
|--|---|
| Počet čerpacích tratí                                    | min. počet 4  |
|  | max. počet 8  |
| Rychlost čerpání   | minimálně 300 ml/min  |
| Průměr hadičky   | min. rozměr 1,6/3,2 mm  |
|  | max. rozměr 4,8/6,4 mm  |
| Inertnost hadiček  | Odolnost závisí na materiálu, odebírané látce a prostředí odběru.       |
| Požadavky na mechanismus                                 |   |
| Možnost přidat/odebrat čerpací tratě                     | Tak, aby nedošlo k ovlivnění funkčnosti peristaltické pumpy.            |
| Modularita   | Jednoduchá výměna kontaminovaných hadiček a možná změna jejich průměru. |
| Dekontaminace  | Nesmí dojít ke kontaktu odebírané látky s mechanickými částmi zařízení. |
| Možnost ATEX varianty                                    | Snadná modifikace do výbušného prostředí.                               |
| Automatické přepínání tratí                              |   |
| Chemicky a tepelně odolný materiál                       |   |
| Minimální údržba a jednoduchá obsluha při výměně hadiček |   |
| Nízké pořizovací náklady                                 |   |
| Nízká hmotnost   |   |
| Minimální rozměry  |   |
| Nízká spotřeba energie při provozu                       |   |

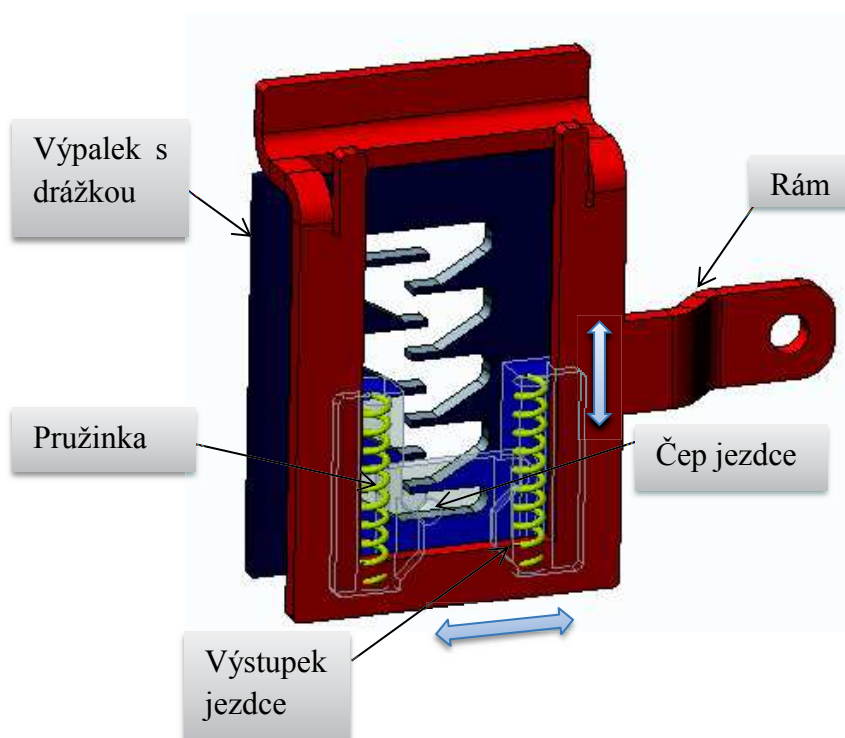
Tab. 4 – Požadavkový list

## 5 Konstrukční návrh

### 5.1 Varianta A



Obr. 12 – Zobrazení a popis varianty A



Obr. 13 – Detailní zobrazení mechanismu varianty A

**Parametry:**

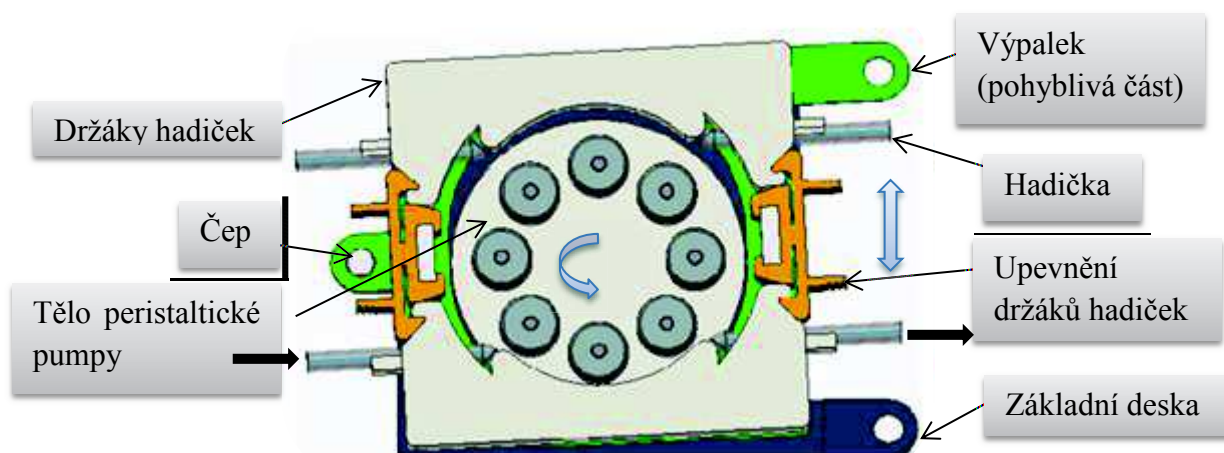
Hmotnost: 2,5 kg

Rozměry (délka x šířka x výška): 153 x 135 x 82 mm

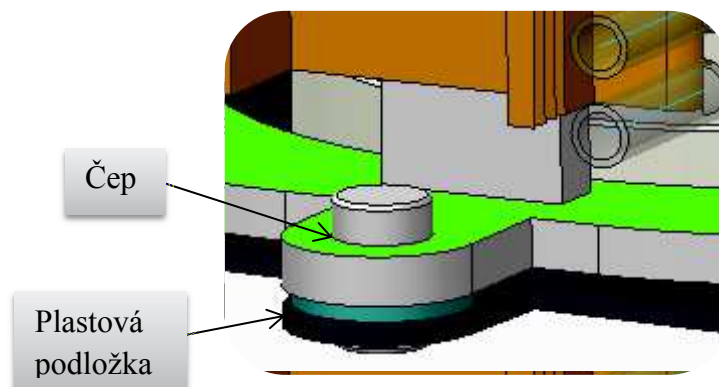
Řešení je navrženo pro odběr osmi vzorků. Držáky hadiček jsou uloženy na čepech. Na druhé straně je připevněn mechanismus přepínání tratí. Mechanismus je tvořen rámem, do kterého je na drážkách umístěn jezdec s čepem. Jezdec se spolu s rámem pohybuje ve směru vlevo/vpravo a na vnitřní straně má symetricky umístěné výstupky, které tlačí na konce držáku a přitlačují tak držáky směrem k peristaltické pumpě a zpět. Čep, našroubovaný v jezdcí, se pohybuje v drážce ve tvaru „stromečku“, která zajišťuje postupný odběr vzorků napříč všemi vrstvami držáků hadiček. Výstup a vstup tekutiny je realizován na stejné straně držáku hadiček z důvodu jednoduššího uspořádání mechanismu. Navrženým pohonem pro tuto variantu je pneumatický aktuátor od výrobce Festo. [25]

Výhodou řešení je variabilita použití elektrického i pneumatického lineárního pohonu, což umožňuje snadnou modifikaci zařízení pro normu ATEX. Při odběru vzorků postupně, tzn. při funkci pouze jedné hadičky, se nároky na výkon pohonu pumpy snižují. Obsluha a servis v případě výměny kontaminovaných hadiček je jednoduchý.

Značnou nevýhodou se může stát výroba součástí a složitost celé konstrukce, včetně skládání, ustavení a seřizování.

**5.2 Varianta B**

Obr. 14 – Zobrazení a popis varianty B



Obr. 15 – Detailní zobrazení čepu

Parametry:

Hmotnost: 2,15 kg

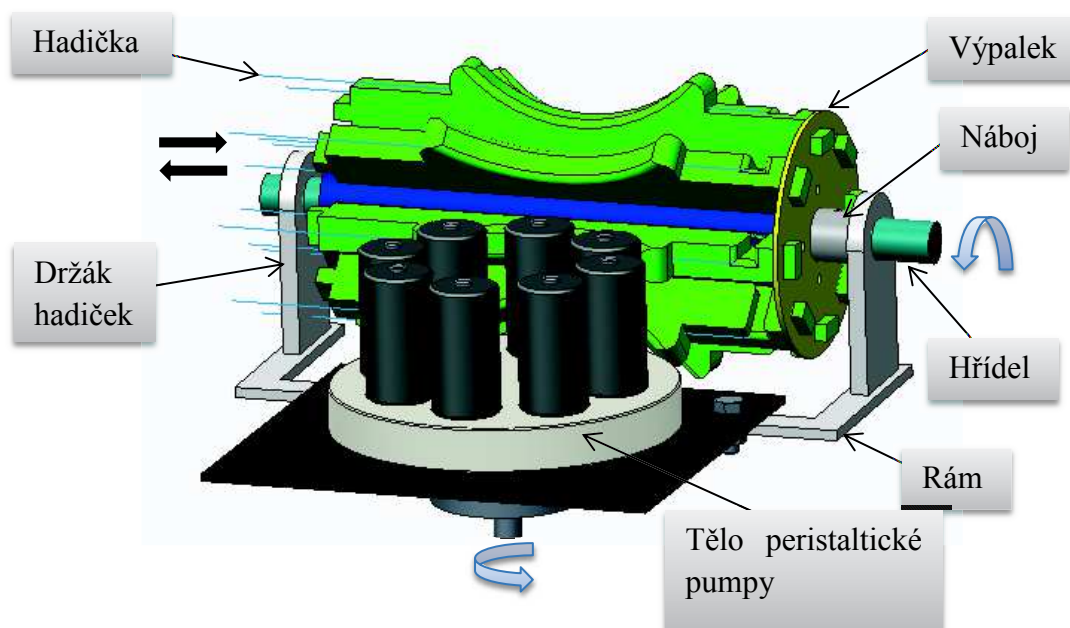
Rozměry (délka x šířka x výška): 206 x 145 x 65 mm

Varianta B se skládá ze dvou částí nasazených na sobě, spojených čepem. Na výpalku jsou svarem připevněny dva hranoly, sloužící k uchycení držáků hadiček. Držák hadiček je upraven rozměrově pro čtyři hadičky. Výpalek je nasazen na čepu a umožňuje rotaci  $3^\circ$  v obou směrech. Aby nedocházelo ke tření základní desky a výpalku, jsou na čepu a šroubech mezi deskou a výpalkem umístěny plastová kluzná pouzdra, např. z produktů výrobce Hennlich, které nabízí vysokou odolnost, dlouhou životnost a nízký koeficient tření. Pohyb je zajištěn lineárním aktuátorem, např. lin. aktuátor L16 od výrobce Firgelli. [29] [32]

Výhodou této varianty je snadná modifikace zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu, jednoduchá konstrukce mechanismu a snadná výroba navržených dílů.

Dle požadavků čerpání pouze jedné trati je nutné zajistit škrcení vždy příslušných tří hadiček ze čtyř. Tato situace vyžaduje řešení dalšího periferního zařízení na škrcení hadiček, což ve výsledku komplikuje obsluhu celého zařízení. Další nevýhodou je požadavek na větší výkon pohonu peristaltické pumpy z důvodu použití čtyř hadiček současně.

### 5.3 Varianta C



Obr. 16 – Zobrazení a popis varianty C

#### Parametry:

Hmotnost: 2,98 kg

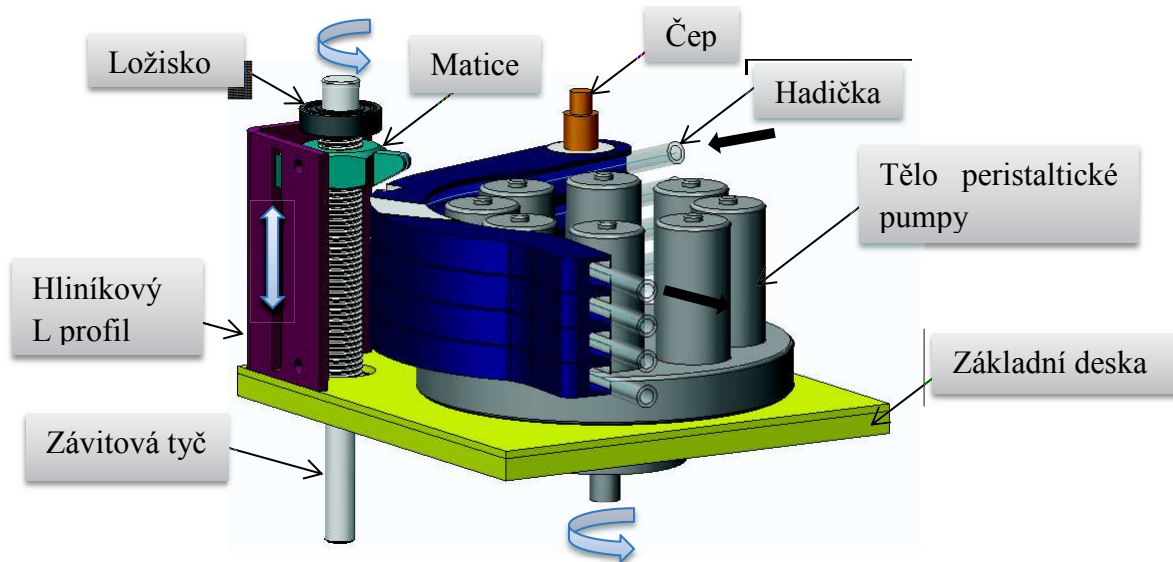
Rozměry (délka x šířka x výška): 190 x 200 x 105 mm

Varianta C je popsána výše na obr. 16. Tvar držáku je optimalizován na minimální rozměry s ohledem na působící síly při rotaci zařízení. Vstup a výstup tekutiny je realizován na stejné straně držáku hadiček z důvodu využití druhé strany zařízení k připojení DC motoru. Spojení držáků hadiček a trubky pomocí drážek je zajištěno předpětím, přišroubováním výpalku. Krouticí moment z hřídele na náboj lze přenášet perem, nebo v případě rozebíratelného spoje šrouby. Celé řešení je uchyceno v ložiscích v rámu, který je k tělu peristaltické pumpy přišroubován. Řešení je přesně polohované tak, aby došlo k dotyku válečků s hadičkou.

Výhodou této varianty je snadná výroba dílů z nakupovaných polotovarů a konstrukční jednoduchost.

Nevýhodou však je obtížná výměna kontaminovaných hadiček, kdy je potřeba rozebrat celý mechanismus, a složitá modifikace do prostředí s nebezpečím výbuchu. Nelze opomenout také větší rozměrové uspořádání a vyšší hmotnost.

#### 5.4 Varianta D



Obr. 17 – Zobrazení a popis varianty D

##### Parametry:

Hmotnost: 2,1 kg

Rozměry (délka x šířka x výška): 133 x 120 x 79 mm

Varianta D je navržena pouze pro čtyři čerpací tratě z důvodu nedostatku prostoru pro dva stejné mechanismy. Držáky hadiček jsou uloženy na čepu, který umožňuje rotaci. Posuvem speciální vyrobené matice, vedené drážkou L profilu, po závitové tyči jsou čerpací tratě postupně spínány. Závitová tyč je uložena v kuličkových radiálních ložiscích a její rotace je zajištěna krokovým motorem. [27] [33]

Výhodou je jednoduchost konstrukce a snadná výměna kontaminovaných hadiček za nové. Svými rozměry i hmotností je nejkompaktnější variantou.

Nevýhodou však může být použití pouze 4 čerpacích tratí a obtížná modifikace zařízení do výbušného prostředí.



## 5.5 Experimentální určení přitlačné síly

K optimálnímu výběru pohonu jednotlivých variant je nutné znát přitlačnou sílu mezi válečky pumpy a hadičkami, potřebnou ke správnému chodu zařízení.

Pro měření byl použit digitální siloměr FG 5100 s rozsahem 980 N x 0,2 N. Použité hadičky TYGON R3603 4,8/6,4 mm jsou laboratorní hadičky s hladkou vnitřní stěnou. Jsou čiré, měkké a pružné, vhodné pro peristaltická čerpadla. Měření při daném počtu hadiček bylo vždy provedeno 3x a byla použita nejvyšší naměřená hodnota, zapsaná v tabulce 5. [15]



Obr. 18 - Experimentální určení síly

### Výsledky měření:

| Počet současně použitých hadiček | Zjištěná síla |
|----------------------------------|---------------|
| 1 hadička                        | 60 N          |
| 3 hadičky                        | 100 N         |
| 4 hadičky                        | 172 N         |

Tab. 5 - naměřené hodnoty

### Závěr měření:

Čím větší je potřebná síla pro přitlačení hadiček, tím vyšší jsou nároky na potřebný moment pohonu peristaltické pumpy. To ve výsledku nepříznivě ovlivňuje cenu, rozměry i hmotnost pohonu. Z měření je zřejmé, že optimální z hlediska návrhu pohonu pumpy je co nejmenší počet hadiček použitých současně při čerpání.



## 6 Hodnotová analýza

Hodnotová analýza je systematický rozbor a hodnocení navržených variant dle zvolených kritérií. Pro provedení hodnotové analýzy bylo vybráno 8 kritérií z požadavkového listu, které budou rozhodující při výběru optimální varianty. Každé kritérium je popsáno, je mu přiřazena hodnota podle následujících tabulek a významnost metodou porovnávání párů kritérií.

### 6.1 Volba kritérií a jejich hodnocení

| # | Kritérium                 | Charakteristika kritéria   |
|---|---------------------------|--|
| 1 | Konstrukce                | Složitost konstrukce, výrobní náročnost součástí.  |
| 2 | Dekontaminace             | Způsob dekontaminace a složitost jeho použití by měl být co nejjednodušší a nejefektivnější.   |
| 3 | Možnost ATEX varianty     | Snadná modifikace zařízení do výbušného prostředí  |
| 4 | Cena                      | Předběžná cena pohonů za 1ks /náklady na výrobu součástí.<br>Ekonomický aspekt zařízení patří mezi prioritní kritéria při rozhodování. |
| 5 | jednoduchá obsluha/servis | Jednoduchost výměny hadiček i s držáky např. při manipulaci v ochranných rukavicích.   |
| 6 | Hmotnost                  | Hmotnost zařízení by měla být minimální.   |
| 7 | Rozměry                   | Malé rozměry zařízení pro kompaktnost.   |
| 8 | Počet čerpacích tratí     | Množství použitých hadiček v daném řešení.   |

Tab. 6 – přehled zvolených kritérií

| Významnost |          |
|------------|----------|
| 2          | Nejvyšší |
| ...        | ...      |
| 1          | Nejnižší |

Tab. 7 – Významnost kritérií

| Počet čerpacích tratí |           |
|-----------------------|-----------|
| 6                     | 8 hadiček |
| 3                     | 6 hadiček |
| 1                     | 4 hadičky |

Tab. 8 – Hodnocení počtu čerpacích tratí (K8)

| Hodnoty kritérií |                     |
|------------------|---------------------|
| 6                | Vysoká úroveň       |
| 5                | Dobrá úroveň        |
| 4                | Průměrná úroveň     |
| 3                | Nízká úroveň        |
| 2                | Nevyhovující úroveň |
| 1                | Nepříznivý stav     |

Tab. 9 – Hodnoty kritérií

| Dekontaminace         |     |
|-----------------------|-----|
| vhodné použití BX24   | 6-5 |
| BS24/SX34             | 4   |
| Vhodné použití SX34   | 3-2 |
| Nemožná dekontaminace | 1   |

Tab. 10 - Hodnocení dekontaminace (K2)

## 6.2 Určení významnosti kritérií

Určení významnosti jednotlivých kritérií bylo provedeno dle metody porovnávání párů v trojúhelníku (Tab. 11).

| Porovnávané páry kritérií |    |    |    |    |    |    | počet voleb | pořadí | váha významnosti |
|---------------------------|----|----|----|----|----|----|-------------|--------|------------------|
| k1                        | k1 | k1 | k1 | k1 | k1 | k1 | 6           | 1 ÷ 3  | 1,92             |
| k2                        | k3 | k4 | k5 | k6 | k7 | k8 |             |        |                  |
|                           | k2 | k2 | k2 | k2 | k2 | k2 | 6           | 1 ÷ 3  | 1,92             |
|                           | k3 | k4 | k5 | k6 | k7 | k8 |             |        |                  |
|                           |    | k3 | k3 | k3 | k3 | k3 | 2,5         | 4 ÷ 6  | 1,38             |
|                           |    | k4 | k5 | k6 | k7 | k8 |             |        |                  |
|                           |    |    | k4 | k4 | k4 | k4 | 2,5         | 4 ÷ 6  | 1,38             |
|                           |    |    | k5 | k6 | k7 | k8 |             |        |                  |
|                           |    |    |    | k5 | k5 | k5 | 6           | 1 ÷ 3  | 1,92             |
|                           |    |    |    | k6 | k7 | k8 |             |        |                  |
|                           |    |    |    |    | k6 | k6 | 2,5         | 4 ÷ 6  | 1,38             |
|                           |    |    |    |    | k7 | k8 |             |        |                  |
|                           |    |    |    |    |    | k7 | 1,5         | 7      | 1,23             |
|                           |    |    |    |    |    | k8 | 1           | 8      | 1,15             |

Tab. 11 – Určení váhy významnosti jednotlivých kritérií

Závislost váhy významnosti na počtu voleb je lineární, lze ji obecně popsat rovnicí v základním tvaru:

$$q = k \cdot v + b$$

$v$  – počet voleb;  $q$  – váha významnosti;  $k$  – směrnice přímky;  $b$  – posunutí přímky

Pro nejnižší hodnotu počtu voleb  $v = 1$  a k ní připadající hodnotu váhy významnosti  $q = 1,15$  po dosazení do vzorečku získáme první rovnici ve tvaru:

$$1,15 = k \cdot 1 + b$$

Při stejném postupu pro nejvyšší hodnotu počtu voleb  $v = 6$  a k ní připadající hodnotu váhy významnosti  $q = 1,92$  po dosazení do vzorce získáme první rovnici ve tvaru:

$$1,92 = k \cdot 6,5 + b$$

Výpočtem těchto dvou rovnic o dvou neznámých získáme hodnoty  $k$  a  $b$ :

$$1,15 = k \cdot 1 + b$$

$$\underline{1,92 = k \cdot 6 + b}$$

$$k = 0,154 ; b = 0,996$$

Závislost váhy významnosti na počtu voleb je vyjádřena rovnicí  $q = 0,154 \cdot v + 0,996$  a je znázorněna na obr. 19.



Obr. 19 - Graf závislosti váhy významnosti na počtu voleb

### 6.3 Přehled navržených variant a jejich hodnocení:

| # | Kritérium             | Varianta A  | Varianta B                  | Varianta C                  | Varianta D                |
|---|-----------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1 | Konstrukce            | Ocelové profily a plechy, Výpalky, Svařence, Plastové součásti, Nakupované díly |                             |                             |                           |
| 2 | Dekontaminace         | BX24  | SX36, BX24                  | SX36                        | SX36                      |
| 3 | Možnost ATEX varianty | Snadná  | Snadná                      | Obtížnější                  | Obtížnější                |
| 4 | Cena                  | 1426,- Kč (Festo)/2000,-  | 2549,- Kč (Firgelli)/3000,- | 3290,- Kč (DC motor)/2000,- | 200,-(Krokový motor)/1500 |
| 5 | Obsluha/servis        | Jednoduchá  | Složitá                     | Složitá                     | Jednoduchá                |
| 6 | Hmotnost              | 2,5 kg  | 2,15 kg                     | 2,98 kg                     | 2,1 kg                    |
| 7 | Rozměry               | 153x135x82  | 206x145x65                  | 190x200x105                 | 133x120x79                |
| 8 | Počet čerpacích tratí | 8   | 8                           | 8                           | 4                         |

Tab. 12 – Přehled navržených variant

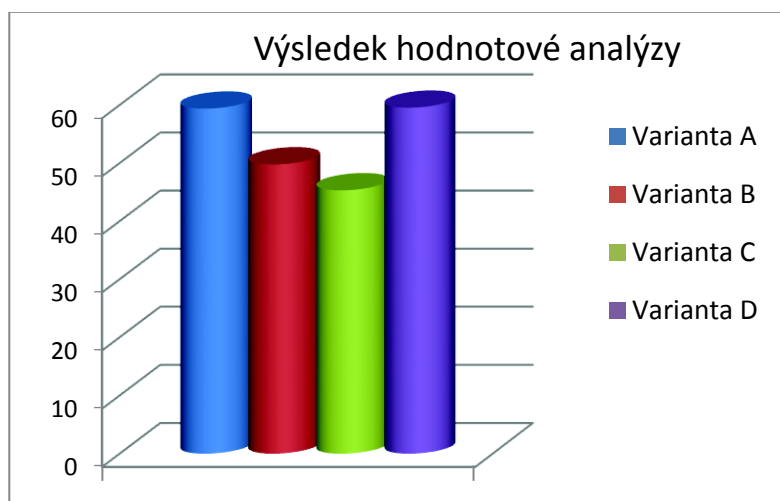
| # | Kritérium             | Varianta A | Varianta B | Varianta C | Varianta D |
|---|-----------------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | Konstrukce            | 5          | 4          | 5          | 6          |
| 2 | Dekontaminace         | 4          | 4          | 3          | 3          |
| 3 | Možnost ATEX varianty | 5          | 5          | 4          | 4          |
| 4 | Cena                  | 5          | 3          | 2          | 6          |
| 5 | Obsluha/servis        | 5          | 3          | 3          | 6          |
| 6 | Hmotnost              | 4          | 5          | 2          | 6          |
| 7 | Rozměry               | 5          | 3          | 5          | 6          |
| 8 | Počet čerpacích tratí | 6          | 6          | 6          | 1          |

Tab. 13 - Hodnocení navržených variant

Určení vážených indexů jednotlivých kritérií daných řešení je určeno jako součin bodového hodnocení a váhy významnosti. Součtem dílčích vážených indexů vznikne výsledný vážený index každé z variant řešení.

| #  | Kritérium                | Významnost kritéria<br>(váha významnosti) | Varianta<br>A | Varianta<br>B | Varianta<br>C | Varianta<br>D |
|--|--------------------------|---|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1  | Konstrukce               | 2,00                                      | 9,62          | 7,69          | 9,62          | 11,54         |
| 2  | Dekontaminace            | 1,15                                      | 7,69          | 7,69          | 5,77          | 5,77          |
| 3  | Možnost ATEX<br>varianty | 1,38                                      | 6,92          | 6,92          | 5,54          | 5,54          |
| 4  | Cena                     | 1,46                                      | 6,92          | 4,15          | 2,77          | 8,31          |
| 5  | Obsluha/servis           | 1,62                                      | 9,62          | 5,77          | 5,77          | 11,54         |
| 6  | Hmotnost                 | 1,38                                      | 5,54          | 6,92          | 2,77          | 8,31          |
| 7  | Rozměry                  | 1,38                                      | 6,15          | 3,69          | 6,15          | 7,38          |
| 8  | Počet čerpacích tratí    | 1,15                                      | 6,92          | 6,92          | 6,92          | 1,15          |
| <b>Součet vážených indexů kritérií <math>\Sigma</math></b> |                          |   | <b>59,38</b>  | <b>49,77</b>  | <b>45,31</b>  | <b>59,54</b>  |
| <b>Výsledné pořadí variant</b>                             |                          |   | <b>2</b>      | <b>3</b>      | <b>4</b>      | <b>1</b>      |

Tab. 14 – Určení vážených indexů kritérií daných variant a jejich celkové součty.

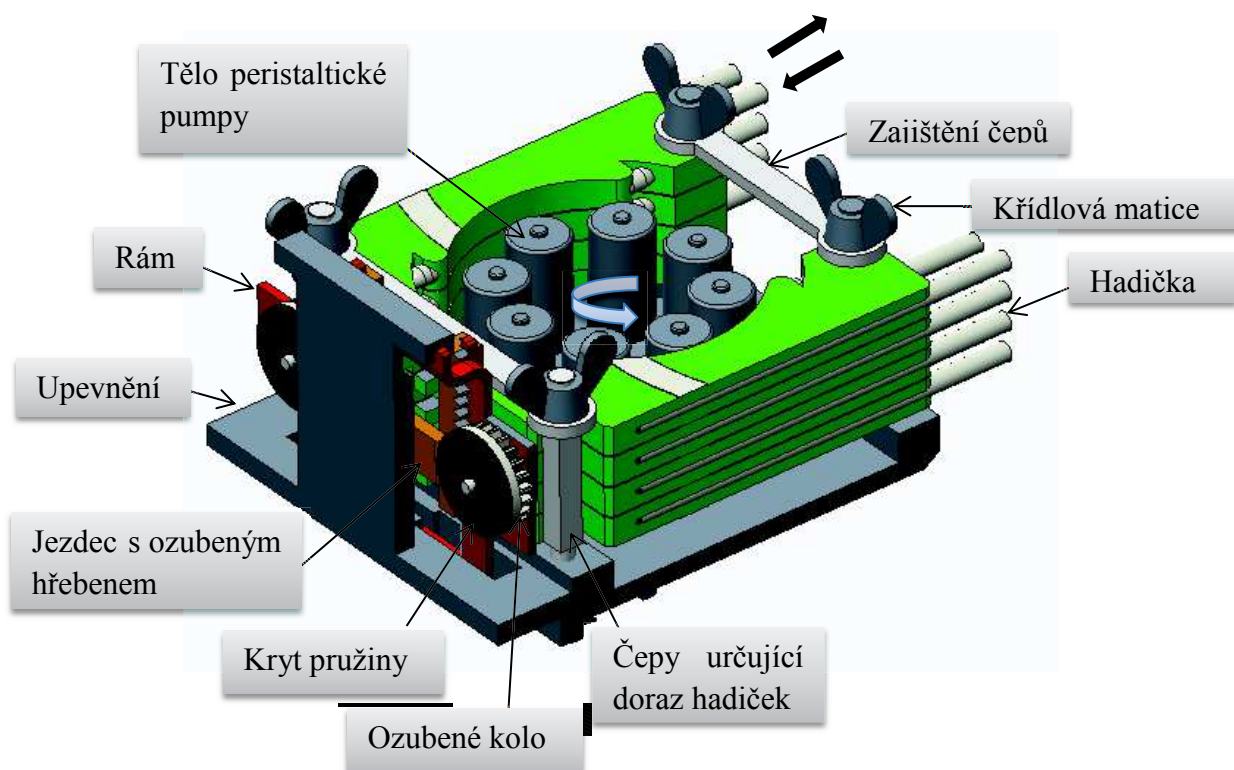


Obr. 20 – Zobrazení výsledků hodnotové analýzy v grafu

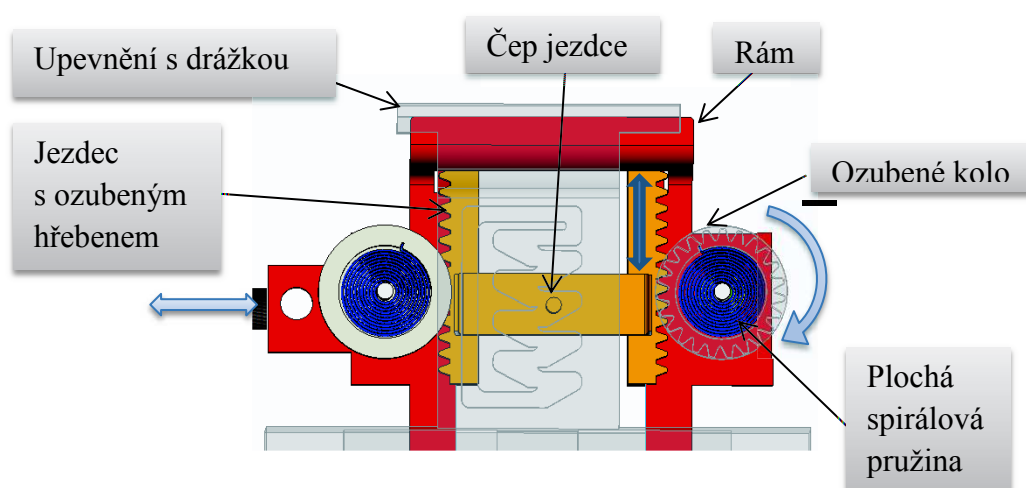
Optimálním řešením je výsledek s nejvyšším součtem vážených indexů kritérií. Rozdíl mezi těmito hodnotami variant A a D je zanedbatelně malý. Na základě výsledků hodnotové analýzy došlo k podrobnějšímu rozpracování varianty A a varianty D a opětovnému vyhodnocení.

## 7 Rozpracování variant

### 7.1 Rozpracovaná varianta A



Obr. 21 – Zobrazení a popis rozpracované varianty A



Obr. 22 – Detailní zobrazení mechanismu

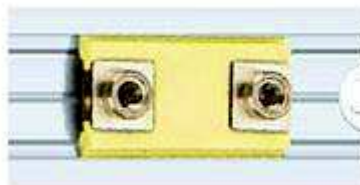
#### Parametry:

Hmotnost: 2,5 kg

Rozměry (délka x šířka x výška): 165x135x82 mm

V návrhu varianty byly použity dvě tlačné pružiny, které zajišťovaly pohyb jezdce směrem nahoru. Tento typ pružiny ale není možné použít z důvodu nedostatečné tuhosti při daných rozměrech umístění. Tlačné pružiny byly nahrazeny plošnými spirálovými pružinami ze stočeného plechu o konstantním obdélníkovém průřezu společně s mechanismem ozubeného kola a hřebenu. Mechanismus ozubeného kola a hřebenu, poháněné plošnou spirálovou pružinou, je použit symetricky na obou stranách. Při výměně dekontaminovaných hadiček za nové se odšroubují všechny 4 křídlové matice a držáky s hadičkami se vysouvají z čepů.

Pro dostatečnou pevnost jsou čepy ve spodní přírubě zašroubovány s lepidlem Loctite 243 (obr. 30) a po nasunutí hadiček jsou zajištěny tvarovým výpalkem, který dosedá na osoustruženou plochu čepu. Rám je vyráběn vypalováním, ohýbáním hliníkového plechu. Další díly jsou vyráběny z lehkých slitin a jejich výroba je náročná na přesnost, čímž se také podstatně zvyšuje jejich cena. Pro zajištění plynulého chodu bylo navrženo nízkoprofilové lineární vedení nejmenší typové řady DryLin NW17 od firmy Igus podle online konfiguratoru (obr. 23). Mechanismus musí být seřízen s nejvyšší dosažitelnou přesností. Pohonem je jeden z pneumatických lineárních aktuátorů od výrobce Festo (obr. 24). Použití pneumatického pohonu je vhodné pro snadnou modifikaci zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu a stlačený vzduch k pohonu lze přivést z centrálního rozvodu.[28] [26] [25]

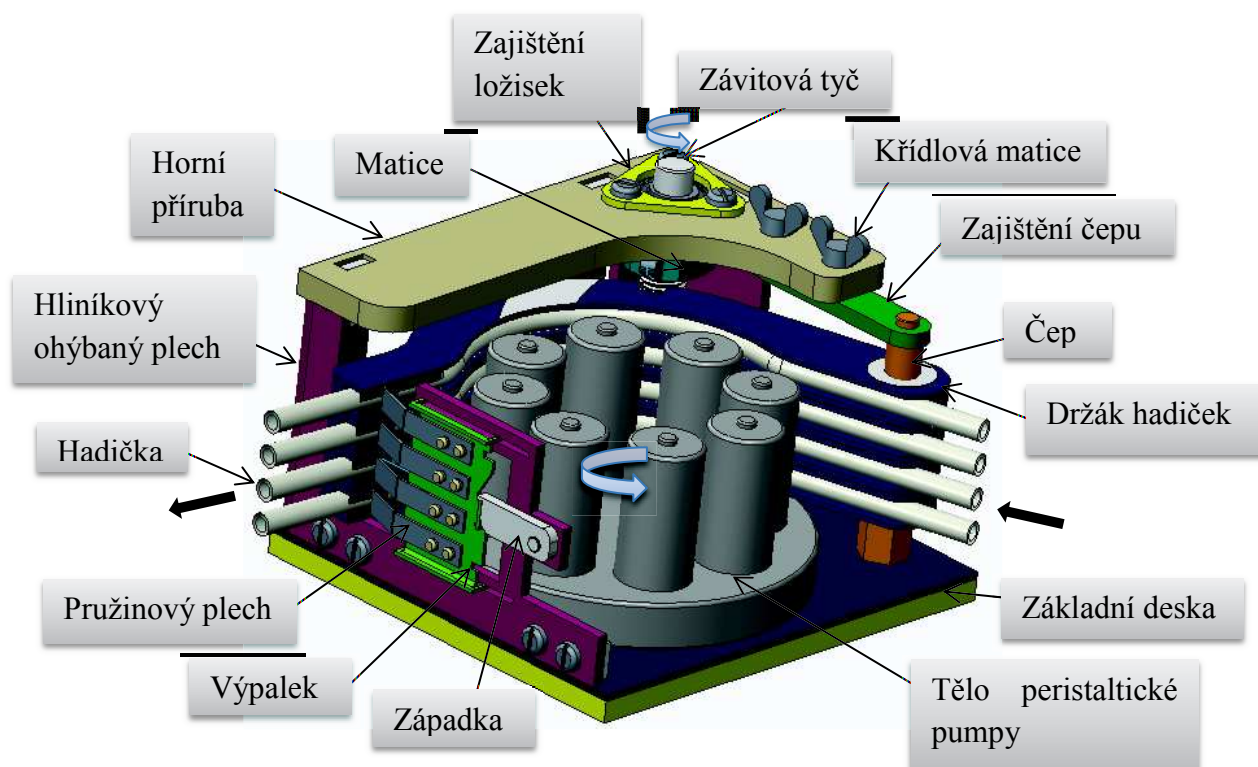


Obr. 23 – Lineární vedení DryLin [26]

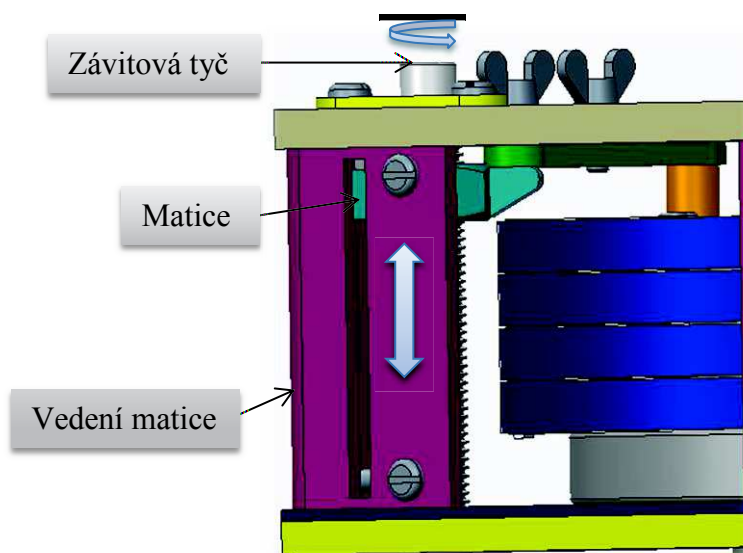


Obr. 24 – Pneumatické válce výrobce Festo [25]

## 7.2 Rozpracovaná varianta D



Obr. 25 – Zobrazení a popis rozpracované varianty D



Obr. 26 – Detail vedení matice

### Parametry:

Hmotnost: 2,1 kg

Rozměry (délka x šířka x výška): 133 x 120 x 79 mm



Pro variantu D byly navrženy pružinové plechy, které zajišťují odtlačení hadiček od válečků peristaltické pumpy. Jejich materiálem je vysokopevnostní ocel Docol, která vyniká svou extrémní pevností, výbornou tvařitelností a dobrou svařitelností nad běžné pružinové oceli. Vedení pružinových plechů v drážkách bylo navrženo pro případ výměny kontaminovaných hadiček tak, aby bylo možné provést výměnu bez nutnosti vyvinutí dostatečné síly na přetlačení pružinových plechů. Při čerpání je vedení zajištěno západkou proti samovolnému posunu. Díly jsou vyráběny z hliníku a oceli. Matice je vyráběna z polotovaru tyče Iglidur J260 od výrobce Igus (obr. 27). Výhodou tohoto materiálu je možnost použití i při vyšších teplotách, vynikající hodnota tření a nízké opotřebení. Součástí řešení jsou nakupované normalizované díly. [26]

Pohonem závitové tyče je krokový motor od výrobce Microcon. Pozinkovaná závitová tyč M12x1,5, dle normy DIN976 z oceli o pevnosti 8.8, je nakupovaný díl od výrobce Valenta a je uložena v kuličkových radiálních jednořadých ložiscích 61900-2Z od výrobce SKF (obr. 29). Čep je zašroubován do základní desky s lepidlem Loctite 243, které je zobrazeno na obr. 30.[33] [27] [28] [30]

Nevýhodou této varianty je použití elektrického pohonu, který se hůře modifikuje do prostředí s nebezpečím výbuchu.



Obr. 27 – polotovar Iglidur J260 od výrobce Igus [26]



Obr. 28 – Krokové motory výrobce Microcon [30]



Obr. 29 – Ložisko 61900-2Z výrobce SKF [27]

Obr. 30 – Lepidlo Loctite 243 [28]

### 7.3 Srovnání rozpracovaných variant A a D

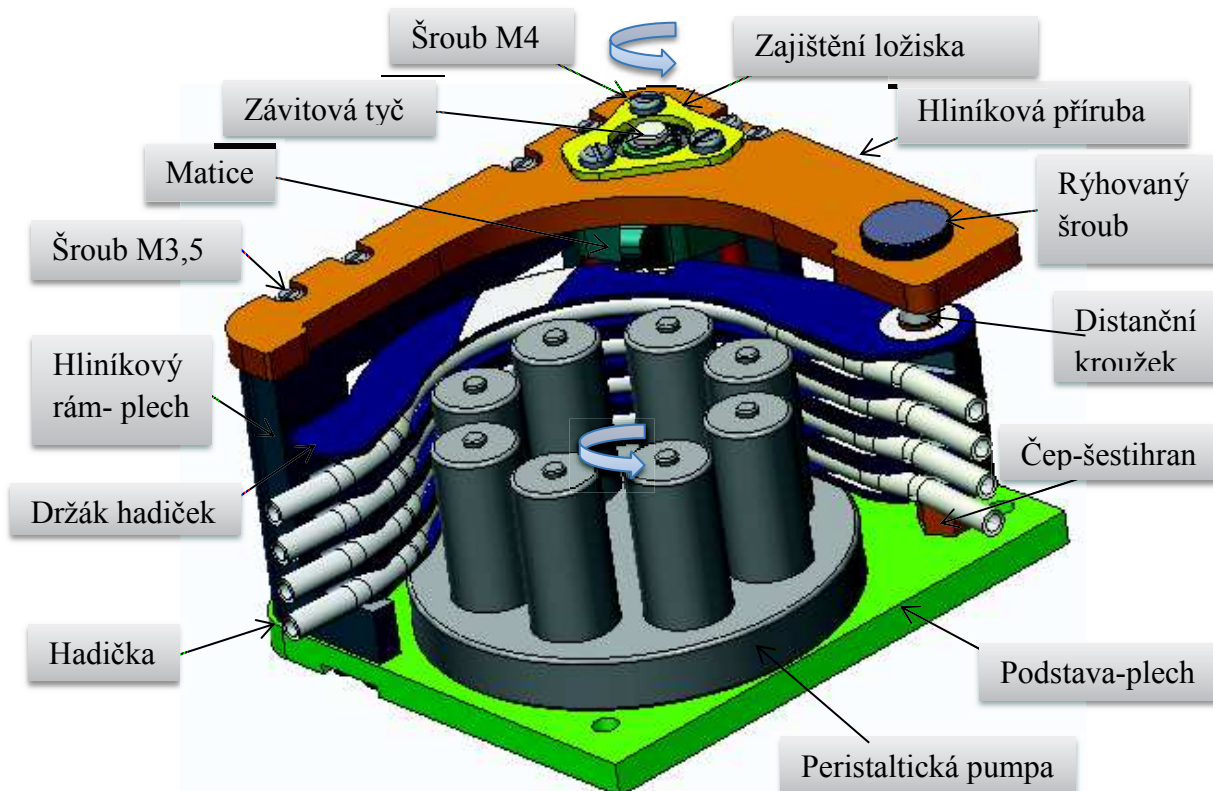
|   | Varianta A                 | Varianta D                          |
|---|----------------------------|-------------------------------------|
| <b>Počet čerpacích tratí</b>                              | 8 hadiček                  | 4 hadičky                           |
| <b>Jednoduchost konstrukce</b>                            | Výroba náročná na přesnost | Nakupované díly a jednodušší výroba |
| <b>Rozměry</b>  | 165x135x82                 | 133x120x79                          |
| <b>Hmotnost</b>   | 2,5kg                      | 2,1kg                               |
| Servis a obsluha zařízení jsou jednoduché u obou variant. |                            |                                     |

Tab. 15 – Srovnání rozpracovaných variant

Ze srovnání obou rozpracovaných variant vyplývá úvaha, že použití 8 hadiček je přílišná komplikace celkové konstrukce. Použití 4 hadiček je konstrukčně jednodušší a pro uživatele spolehlivější. Jde o optimální počet čerpacích tratí i za cenu menšího počtu odebraných vzorků. Menší počet odebraných vzorků je kompenzován nižší cenou zařízení, menšími rozměry i nižší hmotností.

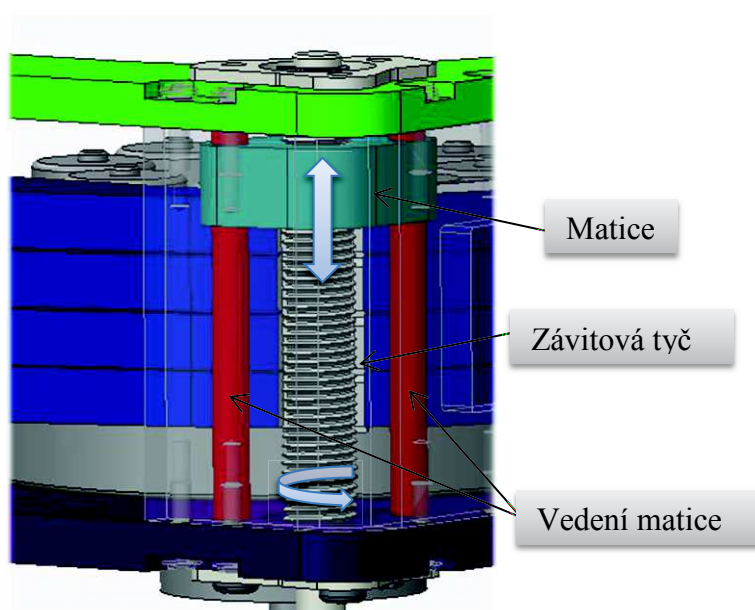
Na základně srovnání dle kritérií z hodnotové analýzy byla vybrána varianta D jako optimální.

## 8 Optimální varianta



Obr. 31 – Zobrazení a popis optimální varianty

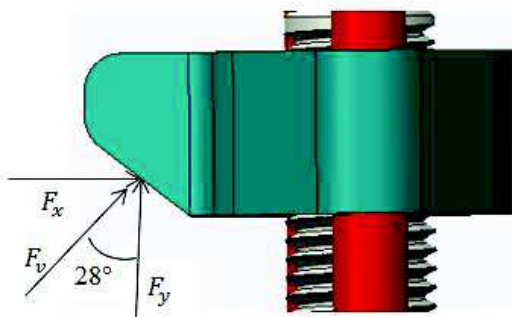
Rozpracování optimální varianty přineslo zjednodušení v podobě změny vedení matice z drážky v plechu na dvě vodící tyče o průměru 6 mm, které vymezují polohu matice přesněji a zachycují klopné momenty (obr. 32). Došlo k odstranění pružinových plechů, protože jejich funkci již nahrazují hadičky svými vlastnosti materiálu (elasticita).



Obr. 32 – Detail vedení matice

## 8.1 Výpočet požadovaného výkonu a momentu motoru

Na obr. 33 je zobrazen rozklad sil působících na matici. Síla  $F_x$  je přitlačná síla, působící kolmo na osu závitové tyče. Třecí síla  $F_y$  je výsledkem součinu tření síly  $F_x$  a koeficientu tření  $f$  materiálů Iglidur a oceli, který je zvolen z rozmezí  $(0,5 \div 3,5)$  z datasheetu materiálu Iglidur. Výsledná síla  $F_v$  má tendence zvedat matici při nájezdu na drážku v držáku a způsobit tak vzpříčení matice.



Obr. 33 – Rozložení sil

Materiál vodící tyče 12 054

$f = 0,2$  (koeficient tření)

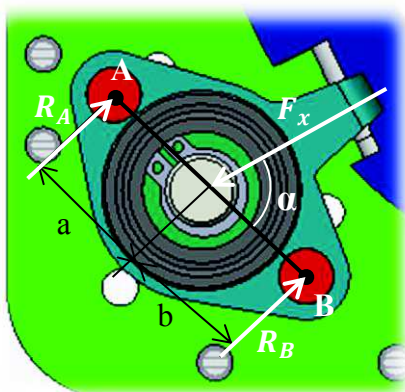
$$F_x = 43 \text{ N}$$

$$F_y = F_x \cdot f = 43 \cdot 0,2 = 8,6 \text{ N}$$

$$F_v = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{43^2 + 8,6^2} = 43,85 \text{ N}$$

### Průhyb vodících tyčí

Vodící tyče jsou navrženy po obou stranách závitové tyče tak, aby zachytily momenty a radiální sílu, kterou závitová tyč nesmí být namáhána. Průhyb jednotlivých tyčí je počítán v místě maximálního možného průhybu, tedy v polovině vodící tyče. Analyticky vypočtené hodnoty průhybů jsou ověřeny graficky v programu MITCalc.



Obr. 34 – Reakce na vedení

$$a = 14,05 \text{ mm}$$

$$b = 15 \text{ mm}$$

$$\alpha = 76,7^\circ$$

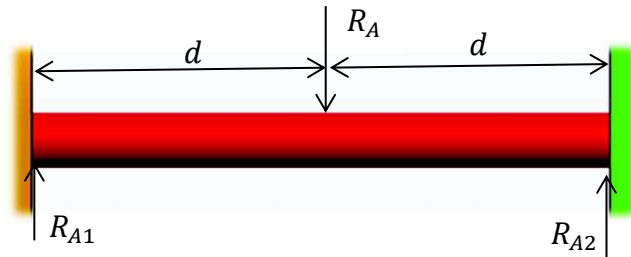
$$\sum F_{i_y} = 0 \quad -R_B + F_x \cdot \sin \alpha - R_A = 0$$

$$\sum M_i = 0 \quad M_B: -F_x \cdot \sin \alpha \cdot a + R_A \cdot (a + b) = 0$$

$$R_A = \frac{F_x \cdot \sin \alpha \cdot a}{(a + b)} = \frac{43 \cdot \sin 76,7^\circ \cdot 14,05}{14,05 + 15} = 15,145 \text{ N}$$

$$R_B = F_x \cdot \sin \alpha - R_A = 43 \cdot \sin 76,7^\circ - 15,145 = 26,709 \text{ N}$$

### Vodící tyč A



$$d = 32 \text{ mm}$$

$$E = 2,08 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$D = 6 \text{ mm (průměr vodící tyče)}$$

Obr. 35 – Reakce vodící tyče A

$$\sum F_{iy} = 0 \quad R_{A1} - R_A + R_{A2} = 0$$

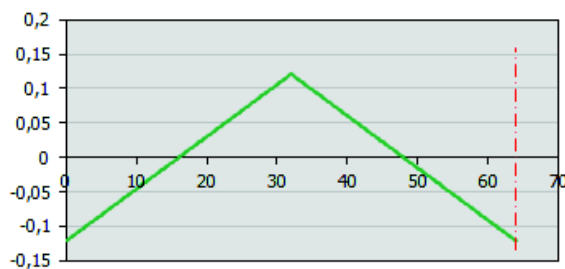
$$\sum M_i = 0 \quad M_{A1}: R_{A2} \cdot 2d - R_A \cdot d = 0$$

$$R_{A2} = \frac{R_A}{2} = \frac{15,154}{2} = 7,577 \text{ N} \quad R_{A1} = R_{A2}$$

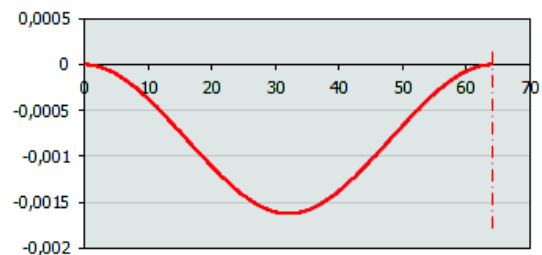
### Výpočet průhybu dle výrobce T.E.A. TECHNIK s.r.o.:

$$\delta_{MAX} = \frac{R_A \cdot (2d)^3}{192 \cdot E \cdot I} = \frac{15,154 \cdot (2 \cdot 32)^3}{192 \cdot 2,08 \cdot 10^5 \cdot 63,617} = 0,00156 \text{ mm} \quad [34]$$

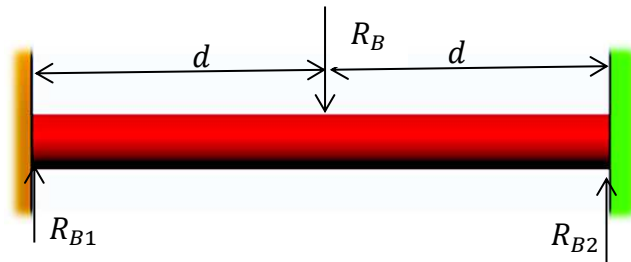
$$I = \frac{\pi \cdot D^4}{64} = \frac{\pi \cdot 6^4}{64} = 63,617 \text{ mm}^4 \quad [34]$$



Obr. 36 – Ohybový moment [Nm]



Obr. 37 – Průhyb tyče [mm]

**Vodící tyč B**

$$d = 32 \text{ mm}$$

$$E = 2,08 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$D = 6 \text{ mm (průměr vodící tyče)}$$

Obr. 38 – Reakce vodící tyče B

$$\sum F_{i_y} = 0 \quad R_{B1} - R_B + R_{B2} = 0$$

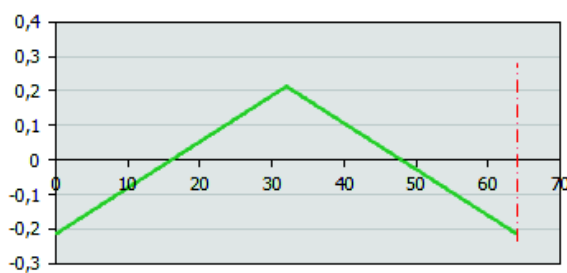
$$\sum M_i = 0 \quad M_{B1}: R_{B2} \cdot 2d - R_B \cdot d = 0$$

$$R_{B2} = \frac{R_B}{2} = \frac{26,709}{2} = 13,3545 \text{ N} \quad R_{A1} = R_{A2}$$

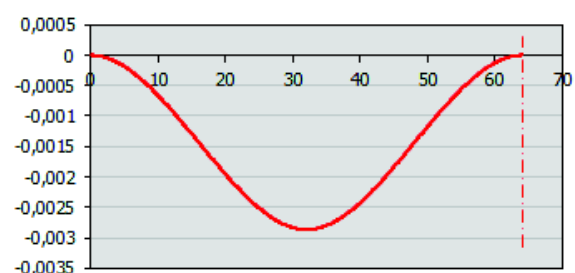
Výpočet průhybu dle výrobce T.E.A. TECHNIK s.r.o.:

$$\delta_{MAX} = \frac{R_B \cdot (2d)^3}{192 \cdot E \cdot I} = \frac{26,709 \cdot (2 \cdot 32)^3}{192 \cdot 2,08 \cdot 10^5 \cdot 63,617} = 0,00275 \text{ mm} \quad [34]$$

$$I = \frac{\pi \cdot D^4}{64} = \frac{\pi \cdot 6^4}{64} = 63,617 \text{ mm}^4 \quad [34]$$



Obr. 39 – Ohybový moment [Nm]



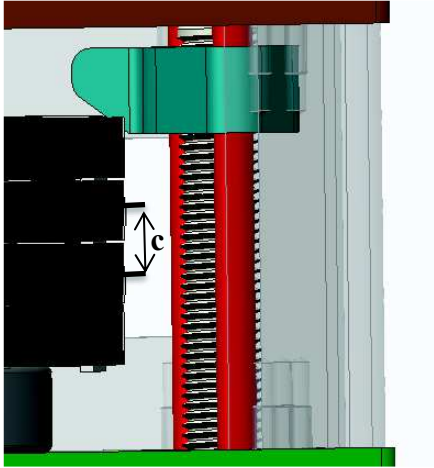
Obr. 40 – Průhyb tyče [mm]

Zhodnocení:

Průhyb obou vodících tyčí je dostatečně malý pro zajištění správného a plynulého chodu zařízení.

**Výpočet požadovaného momentu a výkonu motoru**

Při výpočtu potřebného momentu motoru je uvažována výše vypočítaná síla  $F_y$  a síly  $F_{At}$  a  $F_{Bt}$ , které vychází z tření vodících tyčí a matice. Účinnost  $\eta$  je pouze 20% z důvodu kontaktu použitých materiálů – Iglidur a ocel. Stoupání závitové tyče  $P_h$  je 1,5 a již výše zmíněný koeficient tření  $f = 0,2$ .



Závitová tyč M12x1,5

Materiál závitové tyče o třídě pevnosti 8.8

$d_2 = 11,026$  mm (střední průměr závitu)

$c = 9$  mm (vzdálenost nutná pro přepnutí tratě)

Materiál vodící tyče 12 054

Obr. 41 - Parametr c

Třecí síly ve vodících tyčích:

$$F_{At} = R_A \cdot f = 15,145 \cdot 0,2 = 3,0308 \text{ N}$$

$$F_{Bt} = R_B \cdot f = 26,709 \cdot 0,2 = 5,9418 \text{ N}$$

Výsledná síla  $F$  zatěžující závitovou tyč:

$$F = F_y + F_{At} + F_{Bt}$$

$$F = 8,6 + 3,0308 + 5,9418 = 17,5726 \text{ N}$$

Potřebný moment motoru:

$$M = F \cdot \frac{P_h}{2 \cdot \pi} \cdot \eta$$

$$M = 17,5726 \cdot \frac{1,5}{2 \cdot \pi} \cdot 0,2 = 0,83 \text{ Nm}$$

Počet otáček  $n$  nutných pro přepnutí tratě:

$$n = P_h \cdot c$$

$$n = 1,5 \cdot 9 = 6 \text{ otáček}$$

Zvolené otáčky  $n_z = 2 \text{ ot /s}$ .

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n_z = 2 \cdot \pi \cdot 2 = 12,566 \text{ rad/s}$$

$$P = M \cdot \omega = 0,83 \cdot 12,566 = 10,43 \text{ W}$$

Rychlost posuvu matice po závitové tyči je vypočítána dle vztahu:

$$v = P_h \cdot n_z$$

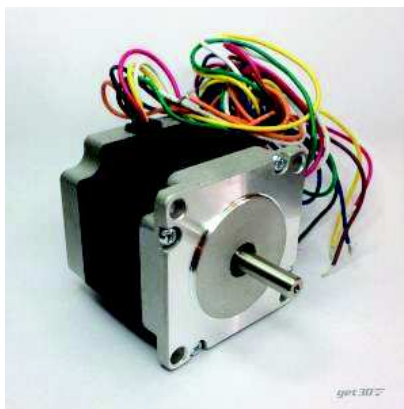
$$v = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ mm/s}$$

Rychlost otáčení je parametr, který byl zvolen s ohledem na plynulost chodu zařízení. Při vyšší rychlosti posuvu matice a jejím nájezdu na držák by byl také vyšší koeficient tření mezi nosem matice a držákem. Ve výsledku by mohlo dojít ke vzpříčení matice. Při volbě otáček byla snaha přiměřeně minimalizovat rychlost tak, aby byl chod relativně plynulý, ale aby celkové přepínání tratí nebylo zdlouhavé.



## 8.2 Návrh pohonu, spojky a jeho řízení

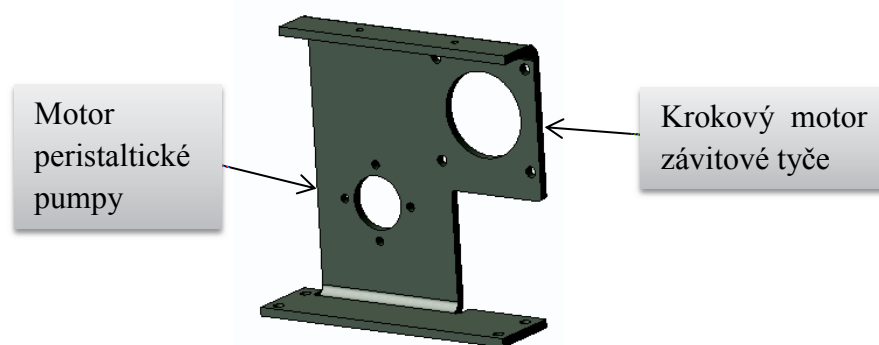
Parametrem při výběru motoru byl vypočítaný potřebný krouticí moment, který byl navržen s momentovou rezervou pro případ náhlého přetížení motoru při krizové situaci. Dalšími parametry byly malé rozměry a nízká hmotnost. Požadavkům vyhovoval krokový motor výrobce Microcon SX23-1414 s přírubou NEMA 23, jehož parametry jsou uvedeny v tabulce č. 16. Motor je přišroubován čtyřmi šrouby M5 k ohýbanému plechu. Z důvodu nízké hmotnosti motoru není potřeba řešit upevnění motoru na druhém konci. [30]



Obr. 42 – Krokový motor SX23-1414 [35]

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Statický moment            | 1,4 Nm               |
| Jmenovitý proud            | 1,45 A               |
| Indukčnost                 | 11 mH                |
| Odpor                      | 3,4 $\Omega$         |
| Moment setrvačnosti rotoru | 30 g·cm <sup>2</sup> |
| Hmotnost                   | 0,69 kg              |
| Délka kroku                | 1,8°                 |
| Počet kroků na otáčku      | 200                  |
| Tolerance kroku            | $\pm 0,1^\circ$      |
| Izolační třída             | NEMA B (130°C)       |
| Rozměry                    | □ 56,4 x 54 mm       |
| Průměr výstupní hřídele    | Ø 6,35 mm            |
| Délka výstupní hřídele     | 21 $\pm$ 0,5 mm      |

Tab. 16 – Technické parametry motoru SX23-1414 [30]



Obr. 43 – Upevnění motorů

Dle stoupání závitové tyče M12x1,5 a uražené vzdálenosti matice 9 mm, nutné pro přepnutí sousedních tratí, bylo vypočteno 6 otáček. Z parametrů motoru lze vyčíst 200 kroků na otáčku. Při požadovaných 6 otáčkách jde o 1200 kroků za zvolenou dobu 3 s. Požadovaná rychlost otáčení motoru je tedy 400 kroků/s. [33] [30]

Pro přenos krouticího momentu z motoru na závitovou tyč byla použita hřídelová bezvůlová spojka TRASCO ES – GESF velikosti 9 se zajišťovacím šroubem od výrobce Haberkorn, vyznačující se vysokou torzní tuhostí, nízkou tepelnou a elektrickou vodivostí, malou setrvačností a velmi dobrou spolehlivostí. Použití spojky, jejíž součástí je polyuretanový elastický člen, je vhodné z důvodu eliminace případné nesouososti a bezúdržbového přenosu krouticího momentu při všech činnostech zařízení. Standardním materiálem náboje je hliník. Parametry spojky jsou uvedeny v tabulce 17. [31]



Obr. 44 – Bezvůlová spojka TRASCO ES – GESF [31]

|                        |   |
|------------------------|---|
| Průměr vstupní hřídele | 6 ÷ 10 mm   |
| Hmotnost               | 0,009 kg  |
| Moment setrvačnosti    | $0,490 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ |
| Maximální otáčky       | $28\,000 \text{ min}^{-1}$                        |
| Zajišťovací šroub      | M3  |

Tab. 17 – Parametry spojky TRASCO ES – GESF vel. 9 [31]

Pro řízení motoru byl navržen kompaktní a flexibilní driver CSD 04.V od výrobce R.T.A.Srl s možností mikrokrokování (až 3200 kroků na otáčku), malými rozměry a snadným nastavením. Tento driver je schopen řídit motory s hodnotami jmenovitého proudu do 4,4 A, je ideální pro řízení nízko-výkonových aplikací s malými krokovými motory. Při nastavování motoru a získání dostatečné plynulosti lze využít širšího rozmezí mikro krokování a po zvážení vybrat optimální hodnotu kroků. Zapínání a vypínání motoru bude realizováno tlačítkem. Při výměně kontaminovaných hadiček dojde k přetočení závitové tyče v opačném směru tak, aby matice byla nastavena v základní poloze a byla připravena k dalšímu odebírání vzorků. V tomto případě bude zpětné otáčení motoru realizováno druhým tlačítkem. Zařízení je řízením a současně i kontrolorem parametrů motoru. [24]



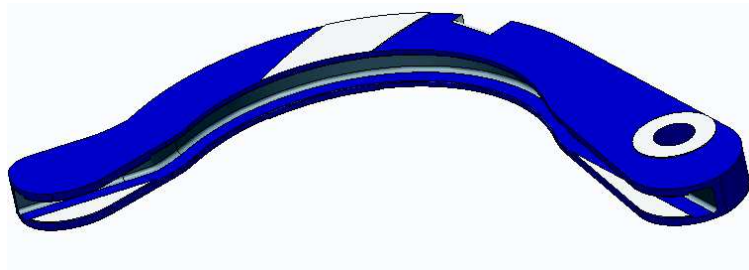
Obr. 45 – Driver CSD 04.V [24]

|                          |                                 |
|--------------------------|---------------------------------|
| Rozměry                  | 92 x 85 x 23 mm                 |
| Připojení                | 4x M3                           |
| Rozsah provozních napětí | 24 - 48 V DC                    |
| Rozsah proudu            | 2,6 – 4,4 A                     |
| Mikrokrokování           | 400, 800, 1600, 3200 kroků/ ot. |

Tab. 18 – Technické parametry driveru CSD 04.V [24]

Driver je vybaven funkcí automatického snížení proudu při zastavení motoru a disponuje ochranou proti zkratu, přepětí a přehřátí díky teplotnímu čidlu, elektronickým tlumením mechanických vibrací a snížením akustického hluku. [24]

Držáky hadiček pro prototyp jsou vyráběny na 3D tiskárně z běžného ABS plastu. Pro následnou výrobu většího počtu kusů by se jednalo o vstřikovaný díl z kvalitnějšího plastu. Po procesu vstřikování budou následovat postupy pro odstranění statického náboje, který při vstřikování vzniká.



Obr. 46 – Navržený držák hadiček

Pro sešroubování horní i spodní příruby k hliníkovému ohýbanému plechu o tloušťce 6mm jsou použity šrouby se zaoblenou válcovou hlavou M3,5x12 dle normy DIN 85 (ISO 1580), které jsou zapuštěny v přírubách. Zajištění ložisek jsou vyráběny jako výpalky z oceli a jsou přišroubovány šrouby M4x8 dle normy DIN 85 (ISO 1580).



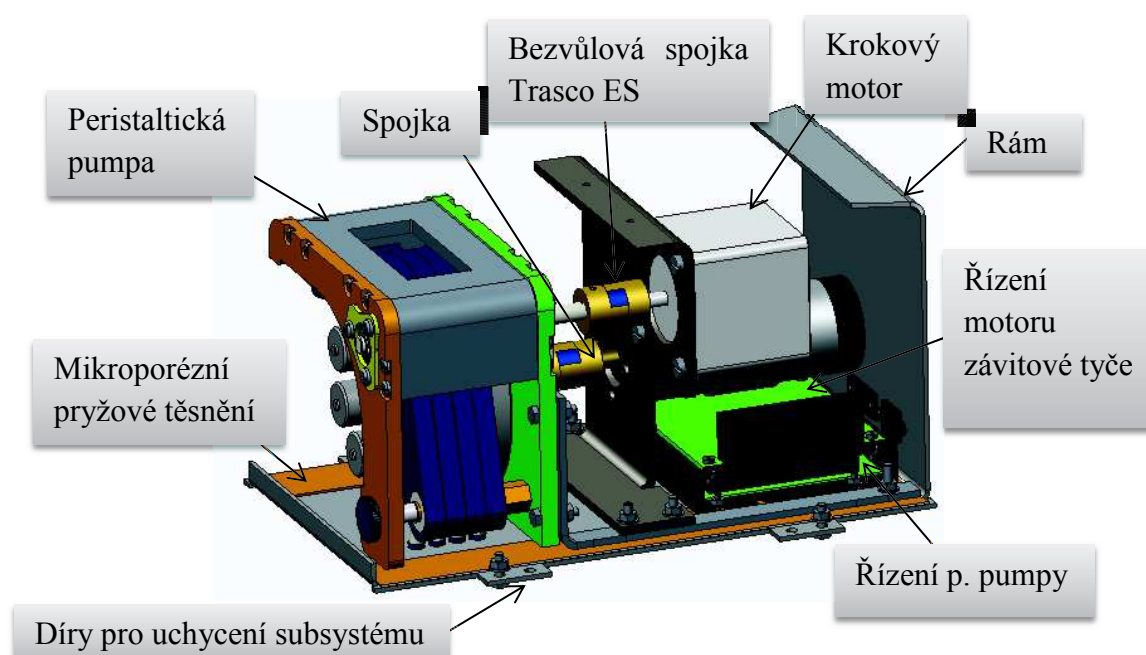
Obr. 47 – Šroub DIN 85

Při výměně kontaminovaných hadiček za nové dojde pouze k vyšroubování rýhovaného šroubu o rozměru M5x25 dle normy DIN 653 a odebrání plastového distančního kroužku. Následně jsou držáky vyjmuty a kontaminované hadičky vyměněny za nové. Při opětovném skládání je použit opačný postup.



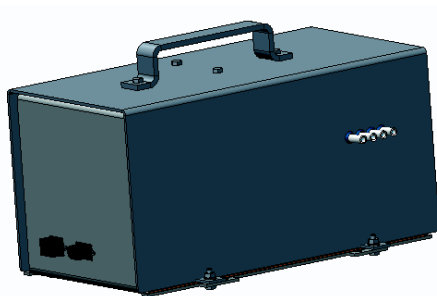
Obr. 48 – Rýhovaný šroub DIN 653

Krytování celého zařízení s mikroporézním pryžovým těsněním je navrženo s ohledem na snadnou dekontaminaci metodou BX24. Těsnění je nakupovaný díl formou samolepící pásky, kterou lze nastříhat dle požadovaných rozměrů. Z důvodu snadné výměny kontaminovaných hadiček byl navržen zvlášť přední díl krytu tak, aby bylo jednoduché ho demontovat. Pro zajištění těsnosti spojení předního dílu krytu je vypalovaný díl, bodově přivařený ke krytování, funkčně zatmelen z vnitřní nepohledové strany. Pro vyrovnání odchylek ploch v rovině, které mohou vzniknout při ohýbání plechů, je použito mikroporézní pryžové těsnění o tloušťce 3 mm. [19]



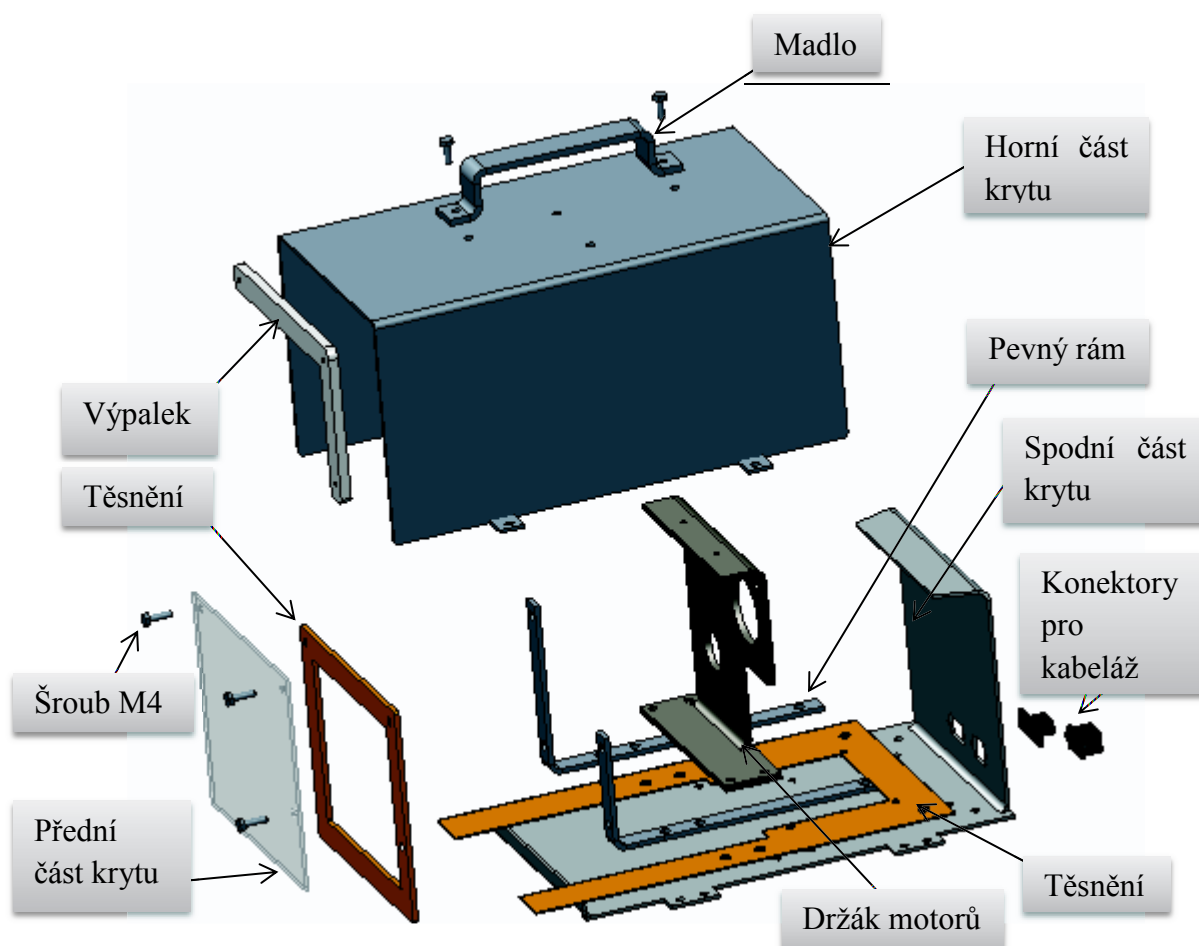
Obr. 49 – Zobrazení mechanismu

Při dekontaminaci celý navržený subsystém společně s dalšími částmi, které jsou součástí většího celku, vjede do dekontaminačního prostoru, kde je ošetřen mokrou suspenzí BX24. Materiálem krytu je nerezová ocel ze dvou hlavních důvodů, tj. nepropustnost a odolnost vůči korozi a pasivní povrchová vrstva, která dobře zabraňuje kontaminaci cizími látkami a zajišťuje tak sterilitu povrchu.



Obr. 50 – Zobrazení krytovaného zařízení

V případě kontaktu s agresivními chemickými látkami, vůči kterým by přirozené vlastnosti nerezové oceli nebyly dostačující, lze použít ochranný nátěr např. epoxidový nátěr Scotchkote 175UC, který byl vyvinut speciálně pro ochranu ocelových ploch při kontaktu s agresivními chemikáliemi. Nátěr má vynikající odolnost vůči otěru a nanáší se minimálně ve 2 vrstvách. Po nátěru je zařízení použitelné do 30 min, avšak k plnému vytvrzení nátěru dojde až po 7 dnech. [22]



Obr. 51 – Zobrazení krytu

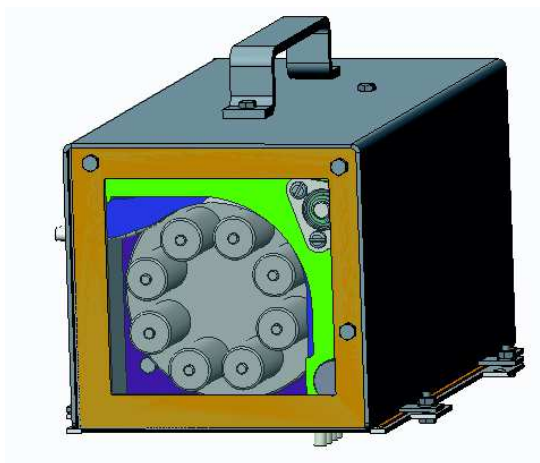
Pro izolaci otvorů v krytu zařízení, určených pro hadičky, jsou použity průchodky. Při montování průchodek se musí dbát na přiměřený utahovací moment, aby nedošlo k uzavření hadiček. Vždy na jednom konci hadičky je nasazena koncovka pro jednoduché připojení k subsystému vzorkovacích nádob a na druhém konci je nasazen konektor pro snadné připojení hadičky k subsystému efektoru, určenému k odběru vzorků. Na obr. 52 je zobrazen konektor od firmy MicroPlastic Medical Components, která se zabývá lisováním termoplastů, určených převážně pro zdravotnictví. Jejich výrobky jsou používány v čistých prostředích a jsou vhodné pro všechny druhy sterilizace. Konektor ani koncovka hadiček

nejsou součástí modelu. Jejich výběr závisí jak na velikosti použitých hadiček z hlediska průměru, tak i na subsystému ke kterému je třeba hadičky připojit. [23]



Obr. 52 – Konektor hadičky od výrobce MicroPlastic [23]

V případě modifikace zařízení do výbušného prostředí dle normy ATEX by byla zvolena metoda přetlakového zapouzdračení prostřednictvím čerpadla. Pro kontrolu přetlaku v zakrytovaném zařízení by bylo vhodné použít univerzální snímače tlaku, vyhovující normě ATEX.



Obr. 53 – Zobrazení zakrytovaného řešení

Parametry:

Rozměry (délka x šířka x výška): 276 x 185 x 173 mm

Hmotnost: 5,8 kg

Napájení: 24 VDC

## 9 Závěr

Cílem bakalářské práce byl návrh a konstrukční řešení automatického přepínání tratí při čerpání peristaltickou pumpou. Při řešení dané problematiky byla v první části práce vytvořena rešerše, zabývající se aktuální využitím systému peristaltické pumpy. Nezbytnou součástí byl i stručný přehled hadiček, určených k čerpání peristaltickou pumpou či čerpadlem. Pro opětovné použití zařízení je nutné uvažovat dekontaminaci a případný pohyb ve výbušném prostředí, jehož bezpečnost zajišťuje norma ATEX. Druhá část bakalářské práce obsahuje čtyři základní varianty řešení. Zhodnocení všech čtyř variant proběhlo formou hodnotové analýzy. Dle hlavních kritérií analýzy došlo k podrobnějšímu rozpracování dvou navržených variant a jejich opětovnému vyhodnocení.

Optimální varianta byla rozpracována do stavu, kdy vyhovuje mokré dekontaminaci BX24. Návrh pohonu vychází z výpočtů požadovaných parametrů a řízení bylo navrženo s ohledem na plynulý chod odběru tekutiny. Pro použití zařízení ve výbušném prostředí by bylo třeba modifikovat kryt a použít čerpadlo pro vytvoření přetlakového zapouzdračení. Pro snížení celkové hmotnosti by bylo možné použít plastový kryt, ale z důvodu chemicky agresivního prostředí a jednodušší výroby dílů byla materiálem krytu zvolena nerezová ocel.

V této bakalářské práci byly navrženy 4 varianty řešení, z nichž byla vybrána optimální varianta, se svými parametry, klady a zápory. Ačkoliv byla práci věnována maximální pozornost, z pohledu jiné osoby zpracovávající toto téma, by jistě bylo možné najít další varianty řešení, které by ale opět disponovaly určitými výhodami i nedostatky.



## 10 Použitá literatura

- [1] CHAPMAN, Kathryn, Simon CHIVERS, Dan GLIDDON, David MITCHELL, Sally ROBINSON, Tim SANGSTER, Susan SPARROW, Neil SPOONER a Amanda WILSON. Drug Discovery Today: Overcoming the barriers to the uptake of nonclinical microsampling in regulatory safety studies [online]. 2014, vol. 19, issue 5, s. 528-532 [cit. 2014-10-09]. DOI: 10.1016/j.drudis.2014.01.002. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359644614000038>
- [2] World Pumps: Overcoming the barriers to the uptake of nonclinical microsampling in regulatory safety studies [online]. 2014, vol. 2014, issue 9 [cit. 2014-10-09]. ISSN 02621762. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0262176214701853>
- [3] Peristaltická čerpadla [online]. [cit. 2014-10-09]. Dostupné z: <http://www.vkcerpadla.cz/peristalticka-cerpadla.htm>
- [4] BC.TESLAR, Jiří. Konstrukce peristaltického čerpadla. Brno, 2009. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=16996](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16996)
- [5] VOJÁČEK, Antonín. Principy průmyslových čerpadel - 7. díl: hadicová čerpadla. [online]. 2011 [cit. 2014-10-09]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-7dil-hadicova-cerpadla>
- [6] NG. MATĚJKA, Roman a Ondřej BC. ČADEK. Infuzní technika - principy a aplikace. Kladno. Dostupné z: <http://1url.cz/uv59>
- [7] LAMBDA PRECIFLOW Peristaltická pumpa: Návod k obsluze. Dostupné z: [http://www.lambda-instruments.com/pdf/czech/Peristalticka%20pumpa%20LAMBDA%20PRECIFLOW\\_Navod%20k%20pouziti.pdf](http://www.lambda-instruments.com/pdf/czech/Peristalticka%20pumpa%20LAMBDA%20PRECIFLOW_Navod%20k%20pouziti.pdf)
- [8] Peristaltické pumpy - peristaltické čerpadla Lambda: představení peristaltických čerpadel. Dostupné z: <http://www.lambda-instruments.com/?pages=czech-peristalticka-pumpa>
- [9] Wine and Beverage Systems: Peristaltic Pumps. [online]. 2009 [cit. 2014-10-09]. Dostupné z: <http://www.wineandbeverage.co.nz/index.php?page=peristaltic-pumps>

- [10] MATOUŠEK, Jiří, Iason URBAN a Petr LINHART. *CBRN: detekce a monitorování, fyzická ochrana, dekontaminace*. 1. vydání. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2008, 232 s. SPBI Spektrum, 59. ISBN 978-80-7385-048-7.
- [11] CRISTANINI CBRN: Decontamination systems. In: [online]. 2008 [cit. 2015-02-08]. Dostupné z: [http://www.cristanini.it/public/pdf/file/pdf\\_1372235852.pdf](http://www.cristanini.it/public/pdf/file/pdf_1372235852.pdf)
- [12] *CBRN Decontamination and Detoxification Systems: Saving people, property and the environment*. 2010, 47 s. Dostupné z: <http://www.ansimon.com/english/decontaminazione/decontaminazione.pdf>
- [13] *BX24: For the decontamination/detoxification of equipment and materials from CBRN agents*. 2011, 11 s. Dostupné z: <http://www.cristanini.com>
- [14] ING. KOTEK, Luboš. Co přináší směrnice ATEX 137. In: [online]. Ústav metrologie a zkušebnictví, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/co-prinasi-smernice-atex-137-30602.html>
- [15] Tubes International: Průmyslové hadice Tygon. In: [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: [http://www.tubes-international.cz/katalog\\_pdf/hadice\\_tygon.pdf](http://www.tubes-international.cz/katalog_pdf/hadice_tygon.pdf)
- [16] Hadičky: Hadičky Verderflex pro peristaltické čerpadlo. In: [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.verder.cz/cerpadla/hadicove-cerpadlo/hadice-hadicky-a-lubrikant/hadicky/>
- [17] Plastics International: ESD Materials. In: *Plastics International: ESD Materials* [online]. 2015 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.plasticsintl.com/esd.htm>
- [18] ŘEZÁČ, Kamil. Krokové motory: princip funkce, metody řízení. In: [online]. 2002 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [19] Specifikace těsnících materiálů. In: [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.armat.cz/pdf/specifikace-tesnicich-materialu-epdm-silikon-ptfe-viton-nbr.pdf>
- [20] Tubing guide. In: [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.axflow.com/global/pumps/watson%20marlow/tubing/tubing%20guide.pdf>

- [21] POLLÁK, V. Polyvinylchlorid (PVC). In: [online]. Ústav polymérů SAV, 2006 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=483>
- [22] UNITECH Trading, s.r.o.: Antikorozi a protichemické nátěry. In: [online]. 2015 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://unitechtrading.cz/prodej-naterovych-hmot/antikorozni-protichemicke-natery>
- [23] Microplastic medical components: Konektory male. In: [online]. 2015 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.mikroplastik.cz/cs/katalog-vyroby/konektory-male>
- [24] CSD Series Drives: Step and Direction. In: [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: [http://www.rta.it/doc/CSD\\_02\\_04\\_92\\_94\\_eng.pdf](http://www.rta.it/doc/CSD_02_04_92_94_eng.pdf)
- [25] FESTO. *Pneumatické pohony* [online]. 2015 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: [http://www.festo.com/cms/cs\\_cz/19111.htm](http://www.festo.com/cms/cs_cz/19111.htm)
- [26] IGUS. *Tyčový materiál: jednotky iglidur®* [online]. 2015 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.igus.sk/wpck/3196/barstock>
- [27] SKF. *Kuličková ložiska* [online]. 2015 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html>
- [28] LOCTITE. *LOCTITE 243* [online]. 2015 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.loctite.cz/Loctite-6700.htm?nodeid=8802623520769>
- [29] FIRGELLI. *L 16 Series* [online]. 2011 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.firgelli.com/products.php?id=42>
- [30] MICROCON. *Hybridní dvoufázové krokové motory řady SX: Technické parametry krokových motorů řady SX16* [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://microcon.cz/pdf2015/13-20.pdf>
- [31] HABERKORN. *Hřídelové spojky: Bezvůlové spojky TRASCO ES* [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.haberkorn.cz/hridelove-spojky/>
- [32] HENNLICH. *Lineární vedení valivá: Miniaturní vedení* [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/linearni-vedeni-valiva-motory-a-pohony-miniaturni-vedeni-649.html>

- [33] VALENTA. *Závitové tyče DIN 976 s jemným stoupáním závitu (pevnost 8.8* [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.valentazt.cz/zavitove-tyce-metricky-zavit.html#jakost-8-8>
- [34] T.E.A.TECHNIK S.R.O. 2009. *Vodící tyče a kuličková pouzdra: Vodící tyče Typ W* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: [http://www.teatechnik.cz/download.php?file=doc/katalogy/vodici\\_tyce\\_a\\_koulickova\\_pouzdra.pdf](http://www.teatechnik.cz/download.php?file=doc/katalogy/vodici_tyce_a_koulickova_pouzdra.pdf)
- [35] *Krokový motor SX23-1414* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://get3d.pl/326-857-large/silnik-krokowy-sx23-1414.jpg>

## 11 Přílohy

- A.** Technický list - Motor SX23-1414
- B.** Technický list - Driver CSD 0.4V
- C.** Technický list - Bezvůlová spojka TRASCO ES-GESF
- D.** Sestavný výkres subsystému FAB0026-ROB1-S
- E.** Sestavný výkres podsestavy pumpy FAB0026-ROB1-S01
- F.** Výrobní výkres upevnění motorů FAB0026-ROB1-S001
- G.** Výrobní výkres matice FAB0026-ROB1-S002
- H.** Výrobní výkres závitové tyče FAB0026-ROB1-S003
- I.** Výrobní výkres ohýbaného plechu FAB0026-ROB1-S004
- J.** Výrobní výkres zajištění ložiska FAB0026-ROB1-S005
- K.** Elektronická podoba bakalářské práce
  - Model optimální varianty
  - Výkresová dokumentace
  - Bakalářská práce
  - Přílohy